



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA FACULTAD DE AGRONOMIA

Trabajo de graduación

Evaluación del patrón de humedecimiento del agua en el sistema de riego por micro aspersión en la finca experimental el Plantel (UNA), 2016

AUTORES:

Br. David Alaniz Ramírez
Br. Jorling José Cruz Herrera

ASESORES:

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

Managua, Nicaragua
Abril, 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA FACULTAD DE AGRONOMIA

Trabajo de graduación

Evaluación del patrón de humedecimiento del agua en el sistema de riego por micro aspersión en la finca experimental el Plantel (UNA), 2016

AUTORES:

Br. David Alaniz Ramírez
Br. Jorling José Cruz Herrera

ASESORES:

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

Trabajo presentado a la consideración del honorable tribunal examinador para optar al título de Ingeniero Agrícola.

Managua, Nicaragua
Abril, 2018

CONTENIDO

Sección	Página
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE ANEXOS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo General	2
2.2 Objetivos específicos	2
III. MATERIALES Y METODOS	3
3.1. Ubicación del área de estudio	3
3.2. Característica de la zona	3
3.2.1. Clima y precipitaciones	3
3.3. Características edáficas del área de estudio	4
3.3.1. Suelo	4
3.4. Parámetros físicos del suelo	4
3.4.1. Densidad aparente	4
3.4.2. Velocidad de infiltración	5
3.5. Parámetros hidrofísicos	6
3.5.1. Capacidad de campo	6
3.5.2. Punto de marchitez	6
3.6. Descripción de las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo de la zona evaluada	7
3.7. Metodología de la investigación realizada	7
3.7.1. Variables evaluadas	8
3.7.2. Intensidad de aplicación	12
3.7.3. Programas informáticos para el procesamiento y análisis de los datos	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
4.1. Caudal	16
4.3. Radio de alcance y traslape	18
4.4. Contenido de Humedad	19

4.6.	Intensidad de aplicación	22
4.7.	Coefficiente de uniformidad	23
4.8.	Relacione estadística entre intensidad de aplicación y lámina infiltrada	24
4.9.	Isoyetas	26
4.10.	Curvas de nivel	30
V.	CONCLUSIONES	31
VI.	RECOMENDACIONES	32
VII.	LITERATURA CITADA	33
VIII.	ANEXOS	36

DEDICATORIA

El presente trabajo de culminación de estudios es dedicado a Dios primeramente, porque él nos da la capacidad de poder desarrollar habilidades físicas y mentales para hacer posible todo proceso social, tanto académico como cultural.

A mi madre *Consuelo Ramírez Navarro*; por su capacidad de enseñanza y forjadora de talentos natos del saber, siendo estos los que construyeron el aprendizaje que me llevaron a triunfar.

A mi padre. *Juan Antonio Gámez Alaniz*; ya que fue capaz de formarme como líder; donde sus preceptos de disciplina, limpieza, honestidad, etc., cultivados durante años, dieron como resultado lo que hoy en día me convierte en un profesional de éxito.

A mi hermano *Ariel Antonio Alaniz Ramírez*; dado a su constante apoyo en múltiples ocasiones, siendo uno de los pilares fundamentales para ser posible mis estudios universitarios; siendo esa mano amiga con la que se fue posible constar; para alcanzar metas que en un inicio parecían ser imposibles.

A mis demás familiares porque de una u otra manera, siendo participes en esta evolución social; donde los mayores retos se vuelven alcanzables, tras escuchar palabras de espiración y perseverancia que te motivan a ser seguir cruzando cualquier obstáculo que nos pueda interferir en nuestras conquistas académicas.

Br. David Alaniz Ramírez

DEDICATORIA

El presente trabajo de culminación de estudios es dedicado a Dios primeramente porque él nos da las fuerzas ante toda adversidad y la sabiduría para poder llegar hasta este momento tan esperado en mi vida.

A mi madre *Josefa del Carmen Herrera Blandón* por siempre darme su amor, cariño, seguridad y respaldo en todo momento que a mí me sirvió de mucha inspiración para ser la persona que soy, por su sacrificio, entrega y amor para con mi persona a lo largo de este importante logro. Por ser mi primera maestra y consejera en mi vida que me ha llenado de tanto conocimiento y mi espíritu de alegría.

A mi padre *Roberto Cruz Gutiérrez* por darme su apoyo incondicional en todo el transcurso de mi vida y carrera, ya que él ha sido una persona pilar en la mayoría de mis planes profesionales.

A mi tía *Maryini de los Ángeles Cruz Gutiérrez* de manera muy especial por haberme apoyado económicamente en el transcurso de mi formación profesional. Tal como segunda madre, porque sin ella no hubiera alcanzado mis metas como profesional su incondicional apoyo fue indispensable en mis metas.

A mis demás familiares que siempre estuvieron presentes con su consejo en mi preparación profesional y de alguna u otra manera formaron parte de mi sueño.

Br. Jorling José Cruz Herrera

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a nuestros padres, a nuestros asesores *Ing. Joel Isaías Angulo Rocha* por brindarnos sus conocimientos, disposición y toda la dedicación para hacer realidad la elaboración de este trabajo de culminación de estudio; al *Ing. David López Campos* por brindar apoyo en las etapas que comprendió la realización de este trabajo y por la revisión de toda la información que comprendía el proyecto.

A la facultad de Agronomía *FAGRO* en especial al *Ing. Rodolfo Munguía* por brindarnos la oportunidad de participación en este proyecto.

Br .David Alaniz Ramírez
Br. Jorling José Cruz Herrera

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1.	Descripción de las propiedades físicas e hidrofísicas, zona evaluada.	1
2.	Coeficientes de Solapamiento.	9
3.	Coeficiente de uniformidad recomendado para microaspersión	13
4.	Análisis de datos de caudal.	16
5.	Análisis de datos de presión.	17
6.	Resultados de la evaluación de radio de alcance.	19
7.	Resultados de intensidad.	23
8.	Resultados obtenidos en la evaluación de uniformidad del sistema.	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Localización del área de estudio en El Plantel.	3
2. Datos de velocidad del viento Tipitapa, Nindiri-Masaya.	4
3. Método de la diagonal de presión.	8
4. Niveles de humedad en el suelo de la zona evaluada.	11
5. Comportamiento en caudales reales y teórico.	18
6. Comportamiento en caudales reales y teóricos.	18
7. Humedad en porcentaje.	20
8. Lamina infiltrada.	20
9. Distribución de la humedad.	21
10. Velocidad de infiltración.	22
11. Correlación lineal simple.	25
12. Mapa de isoyetas de intensidades.	26
13. Mapa de isoyetas de lámina recogida.	27
14. Mapa de isoyetas de humedad.	28
15. Mapa de isoyetas de lámina infiltrada.	29
16. Curvas de nivel de la zona evaluada.	30

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1.	Mapa del sistema de aspersión de El Plantel-UNA.	36
2.	Cilindros infiltrómetros de doble anillo.	36
3.	Datos obtenidos de prueba de infiltración.	37
4.	Modelo para obtener la velocidad de infiltración.	37
5.	Valores de velocidad de infiltración.	38
6.	Distribución de los micros aspersores en la zona evaluada.	38
7.	Disposición pluviométrica.	39
8.	Marco de plantación de pluviómetros.	39
9.	Puntos de toma de datos de presión y caudal.	40
10.	Datos de presión.	40
11.	Datos de radio mojado de micro aspersores.	41
12.	Datos obtenidos en muestreo de suelo.	41
13.	Datos obtenidos en campo, referencia espacial GPS.	42
14.	Análisis estadístico de correlación entre variables.	42
15.	Localización de levantamientos de puntos GPS.	43
16.	Base de datos para construcción de isoyetas.	43
17.	Tabla de funcionamiento “smooth drive”	44
18.	Datos de aforo.	44
19.	Levantamiento de datos pluviométricos.	45
20.	Comparación en caudal y presión real vs teóricos.	46
21.	Contenido de humedad en la zona evaluada.	47

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la finca experimental El Plantel-UNA, con el propósito de determinar el patrón de humedecimiento de zona evaluada, en riego por micro aspersión fijo; las variables evaluadas fueron: presión de trabajo, caudal y radio de alcance fueron. La investigación se estableció en la época seca del mes de marzo 2016, utilizando la metodología de la diagonal de presión. Se encontró que al presentarse la variación en las presiones, donde las máximas reales están cerca de las mínimas teóricas, estas se ven actuando directamente en los caudales; más sin embargo estas diferencias no actúan por encima del 20 %, clasificándose así como un riego homogéneo. Donde la uniformidad del sistema de riego por microaspersión de la zona evaluada es de 78 % clasificada como buena; sin embargo los datos obtenidos en los 16 puntos de muestreo, y al obtenerse las isoyetas en el análisis espacial; se encontró que la distribución no es uniforme, concluyendo que en los parámetros hidráulicos el que más influye en la uniformidad es el traslape entre diámetro de mojado.

Palabras clave: presión hidráulica, caudal, lámina, uniformidad, isoyetas, riego.

ABSTRACT

The present work was carried out in the experimental farm the campus-UNA. The purpose of determining pattern wetting zone evaluated in irrigation micro spray fixed, where the variables, working pressure, flow and within reach were evaluated. Research was established in the dry season of the month Of March 2016, using the methodology of the diagonal pressure. Was found that the obtained variation in pressure, where the maximum real are close to the minimum theoretical, these are acting directly in the flow rates: but however these differences do not act above 20 % sorting and irrigation homogeneous. Where uniformity irrigation system by micro spray in the area evaluated is 78 % classified as good. But however the data obtained in 16 sampling points, and the obtained the isoyetas in the spatial analysis; was found that the distribution is not uniform; concluding that in the hydraulic parameters the one overlap between the wetting diameters.

Keywords: hydraulic Pressure, flow, sheet, uniformity, isohyets, irrigation.

I. INTRODUCCIÓN

La Universidad Nacional Agraria (UNA) establece en su misión, formación de profesionales, la construcción de conocimientos sólidos; tanto científicos como tecnológicos en la producción. Retomando estos aspectos la Facultad de Agronomía (FAGRO) propone implementar su plan de módulos prácticos establecido en su programa curricular, tomando el riego como parte de las sub competencias en la enseñanza-aprendizaje situado en la finca El Plantel (López, 2012, citado por Alvarado, 2016).

Es necesario que recién finalizada la instalación de un sistema de riego o al principio de cada de riego, es conveniente que se realice una evaluación de la eficiencia y uniformidad del sistema; proceso por el que se puede saber si la instalación y el manejo que se hace reúnen las condiciones necesarias para reponer el agua que se evapora o se pierde por infiltración, cubriendo las necesidades del cultivo, para la obtención de máximas producciones y al mismo tiempo minimizando las pérdidas de agua, debido a que una baja uniformidad del sistema implica la existencia de zonas del suelo con excesos de agua y otras con déficit (Andalucía, 2010).

Por esta razón se inició esta investigación, la que pretende realizar la evaluación del sistema de riego por micro aspersión en la finca experimental El plantel, de modo tal que se garanticen los rendimientos óptimos en los diferentes rubros. Una evaluación nos permite conocer cantidad de agua que se está aplicando en condiciones de explotación y su uniformidad de funcionamiento; en cuanto, al diseño original, esto para optimizar el recurso agua que cada vez se hace más escaso, también determinar parámetros de riego, para que de esta manera se den las pautas a un plan de riego (Cisneros, 2010).

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar el patrón de humedecimiento en el sistema de riego por micro aspersión, finca experimental El Plantel, Universidad Nacional Agraria (UNA), 2016.

2.2 Objetivos específicos

Determinar la uniformidad de riego, en base a la lámina aplicada por los micros aspersores en la zona evaluada.

Evaluar los parámetros hidráulicos de los aspersores y su incidencia en la uniformidad de riego.

Establecer el comportamiento de las láminas aplicadas e infiltradas; a través de las isoyetas.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación del área de estudio

El centro experimental El Plantel, Se encuentra ubicado en el km 30 Sobre la carretera Tipitapa-Masaya al sureste de la cabecera municipal de Tipitapa Nindiri-Masaya, departamento de Managua, con Coordenadas $86^{\circ} 05' 25''$ longitud Oeste y $12^{\circ} 07' 11''$ latitud norte. La elevación se encuentra comprendida entre 80 y 108 msnm, limitando al norte con la comunidad de Zambrano, al sur con la comunidad de Guanacastillo, al este con la comunidad de Zambrano y al Oeste con la comunidad de cofradía.

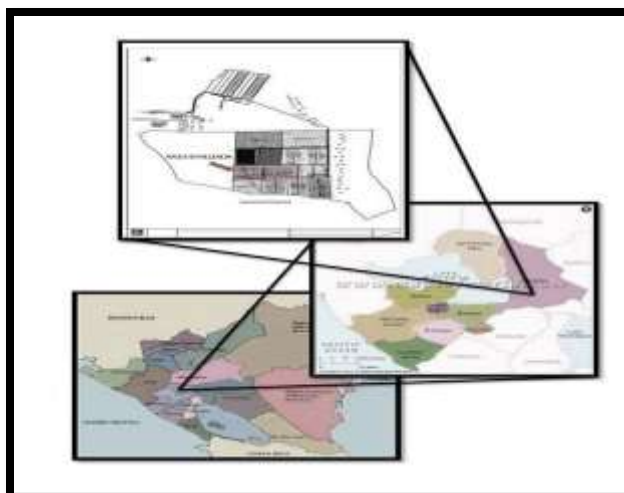


Figura 1. Localización del área de estudio en la finca experimental El Plantel, UNA.

3.2. Característica de la zona

3.2.1. Clima y precipitaciones

El clima en la zona de estudio en El Plantel, se caracteriza por tener temperaturas cálidas durante todo el año, posee una marcada estación seca que ahora va desde Mayo a Noviembre, siendo pocos los meses de lluvia, según la clasificación (Köppen, 1923).

Se produce un déficit de precipitaciones en los meses de Julio a Agosto, los cuales son muy calurosos. Se originan las mayores precipitaciones en los meses de Junio y Octubre, y en Abril las precipitaciones son pocas o nulas (INETER, 2015).

Las temperaturas máximas alcanzan los 38°C y las mínimas 20°C presentando temperaturas medias de 29°C . La evapotranspiración potencial mensual varía de 105 a 150 mm año^{-1} , presentándose los mayores valores entre los meses de Marzo y Abril y los menores entre Octubre y Diciembre (INETER, 2015).

Los vientos predominantes en esta área son los vientos alisios del noreste y alcanzan velocidades generalmente bajas, no obstante se produce una inestabilidad anual, actualmente ha ido incrementando con la variabilidad climática. Los vientos más fuertes se presentan en la estación seca en el mes de Febrero alcanzando velocidades de 5.5 m s^{-1} , y los vientos más bajos en Octubre con velocidades de 2 m s^{-1} .

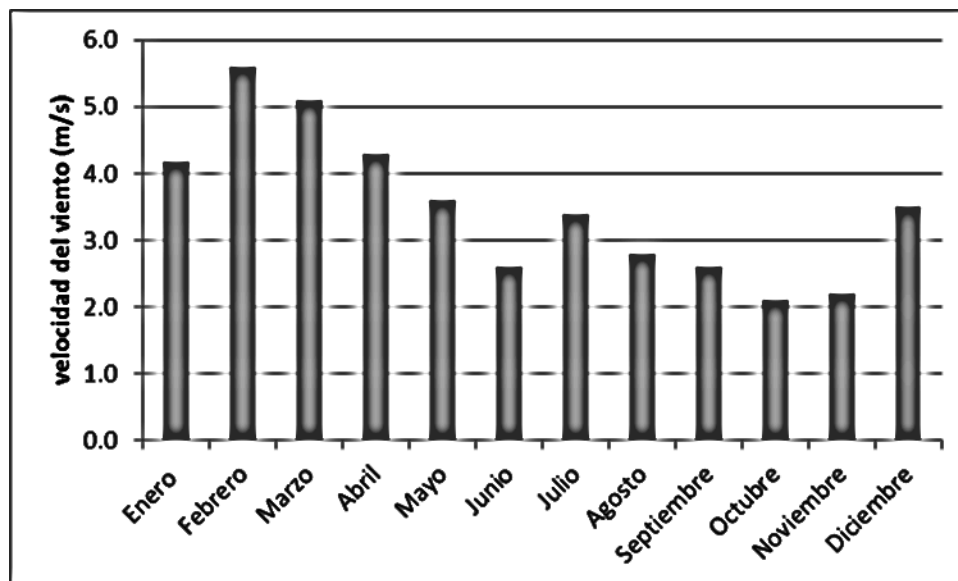


Figura 2. Datos de velocidad del viento Tipitapa, Nindiri-Masaya (INETER, 2016).

3.3. Características edáficas del área de estudio

3.3.1. Suelo

Los factores creadores de suelos son: el tectonismo y algunos procesos formadores que los han modelado como la erosión y la sedimentación. La textura varía desde arenosa a franco. En términos generales se considera que los suelos son bien drenados con fertilidad aceptable, (Somarriba, 1989, citado por García, 2006).

3.4. Parámetros físicos del suelo

3.4.1. Densidad aparente

Según (Palomino, 2009), señala que existe una relación entre el peso del suelo seco o pesos de sólidos y el volumen total de la muestra no alterada, cuyo valores se expresan en gramos por centímetros cúbicos (g cm^{-3}).

Para determinar la densidad, se muestreo a una profundidad de 20 cm en el área, donde se utilizó barrenos y cilindros de volumen 100 cm^3 , de modo que los datos sean representativos; los cuales fueron analizados por el laboratorio de suelo y agua (LABSA)-UNA.

Formula:

$$Da = \frac{Ps}{Vt}$$

Dónde:

Da: densidad aparente del suelo g cm^{-3}

Ps: peso del suelo seco en gramos (g)

Vt: volumen total del suelo en centímetros cúbicos (cm^3)

3.4.2. Velocidad de infiltración

La infiltración se define como el proceso de entrada de agua al suelo, generalmente a través de la superficie y verticalmente hacia el interior del suelo. Cuando se realiza un riego, la velocidad con la que le agua entra al suelo disminuye con el tiempo, hasta que se llega a una situación con la cual la velocidad de infiltración no varía con el tiempo (Valverde, 2000).

Según (Valverde, 2000), afirma que la velocidad de infiltración y la infiltración acumulada se puede estimar por medio de dos métodos: cilindros infiltrometros de entradas y salidas. Los datos obtenidos se utilizan en el desarrollo de las ecuaciones empíricas, como las de Horton y Kostiakov-Lewis. Cuya fórmula es la siguiente:

$$I = K.t^{-1}$$

Dónde:

I = velocidad de infiltración en mm h^{-1} o cm h^{-1}

K = Velocidad de infiltración durante el intervalo inicial ($t = 1$)

t = Tiempo en minutos (min)

n = Exponente a dimensional negativo, entre 0 y -1. Corresponde a la pendiente de la curva e indica como la velocidad de infiltración disminuye con el tiempo.

Para el cálculo de la infiltración acumulada, se integra la ecuación de Kostiakov, quedando de la siguiente forma:

$$I = (17.4715) t^{-0.1152}$$

Dónde:

I: infiltración acumulada (cm h⁻¹)

t: tiempo en minutos (min).

3.5. Parámetros hidrofísicos

3.5.1. Capacidad de campo

Se refiere al contenido de humedad presente en un suelo en contra de las fuerzas de gravedad, dos o cuatro días después de una lluvia fuerte o un riego abundante y que ha drenado el agua gravitacional; esto depende de la textura, contenido de materia orgánica y compactación del suelo (Valverde, 2000).

Es por ello que para determinar la capacidad de campo es necesario el uso del método de laboratorio de la olla de Richard. Donde se tomó 6 muestras en el área de estudio a una profundidad de 20 cm con barreno y un cilindro de volumen 100 cm³, para recolección de muestra. Luego fueron llevadas al Laboratorio de Suelo y Agua (LABSA)-UNA, para su análisis.

3.5.2. Punto de marchitez

El Punto de marchitez permanente (P.M.P), Es el porcentaje de humedad retenida a una tensión aproximada de 15 atm en la cual las plantas no pueden reponer el agua suficiente para recobrar su turgencia y la planta se marchita permanentemente. También el P.M.P. depende de la especie vegetal, cantidad de agua utilizada por los cultivos, profundidad de raíces, capacidad de retención del suelo, etc. En términos de tipo de agua el P.M.P. representa el agua no disponible, es decir, agua que se encuentra fuertemente retenida por diferentes fuerzas y que las plantas se les dificulta su aprovechamiento (Cisneros, 2010).

Se determinó el punto de marchitez haciendo uso del método de laboratorio con la olla de Richard. Donde se tomaran 6 muestras en el bloque estudiado a una profundidad de 20 cm, con barreno y cilindro de 100 cm³ de recolección de muestra.

Cuadro 1. Descripción de las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo de la zona evaluada analizado en el LABSA-UNA.

Densidad aparente (Da) g cm⁻³	Capacidad de campo (CC %)	Punto de marchitez permanente (PMP %)	Arcilla %	Limo %	Arena %	Textura
1.20	45	23.7	38.5	35.7	25.8	Franco arcilloso

3.6. Metodología de la investigación realizada

La investigación no experimental es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, es investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos (Sampieri, 2010).

Por ende, se realizó la investigación en la evaluación del riego, seleccionándose un bloque de las unidades de riego de la finca El Plantel, de 1.2 ha, en este caso de la zona de micro aspersión, donde se evaluó el patrón de humedecimiento de los micro aspersores en el campo; la prueba se realizó en función del esquema en que están dispuestos e instalado 12 laterales y 102 aspersores que trabajan simultáneamente en un sistema fijo.

Donde se dispuso sobre el área una red de 64 pluviómetros, que según la norma UNE 68-072-86 serán de forma cilíndrica y tamaño uniforme, con los bordes agudos y sin deformaciones, con una altura de 25 cm y con un diámetro de 10.16 cm en disposición cuadrada de 3x3 m, con una densidad de espaciamientos entre aspersores de 12 m y entre laterales de 12 m.

Para la evaluación del sistema de riego por microaspersión, se hizo en base al método de la “diagonal de presión” (figura 3) este principio se utiliza en procedimiento de riego por goteo; mas sin embargo fue adoptado para este sistema (riego por micro aspersión); dado que, nos permite valorar parámetros hidráulicos que caracterizan a los aspersores dispuestos en área, tales como: presión, caudal e intensidad.

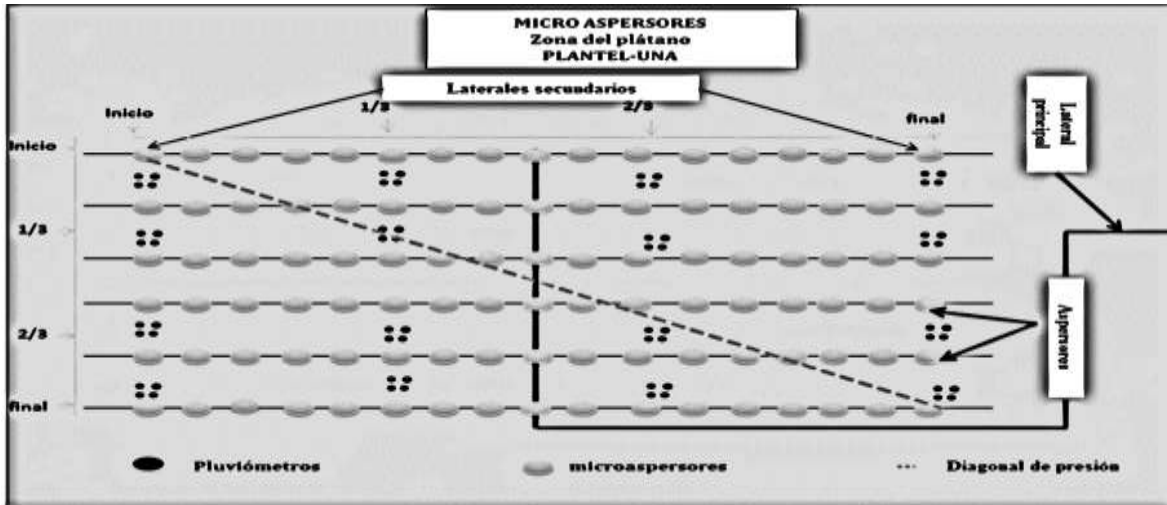


Figura 3. Método de la diagonal de presión.

3.6.1. Variables evaluadas

Presión de trabajo

La presión se puede definir como la fuerza ejercida sobre una superficie determinada. En referencia al agua que circula en una tubería, la presión es la fuerza que ejerce el agua sobre las paredes de ésta y los distintos elementos que componen el sistema (Gómez, 2010).

Al medir la presión de trabajo de los emisores se procedió a tomar una muestra de microaspersores, tal que fuese representativa del área total de riego en este caso se tomaron 12 emisores smooth drive; donde se encuentran 12 laterales, 6 en la parte izquierda, 6 en la parte derecha y 102 aspersores en toda el área; en el primer lateral derecho se tomaron dos, del ultimo lateral derecho dos, del tercer lateral derecho e izquierdo dos, del tercer lateral derecho e izquierdo dos; los cuales se tomó caudales; utilizándose el método volumétrico que es más utilizado para la medición de caudales pequeños y de igual manera presiones con un manómetro de mano haciendo uso del manómetro de mano.

Gasto de trabajo del emisor

Se define el caudal como la cantidad de agua que pasa por una conducción o tubería en un tiempo determinado (Cisneros, 2010).

Se procedió a la toma de datos en cada uno de los puntos de aforo; para ello se utilizó, un recipiente de 20 litros y una manguera de 1 ½ pulgadas, colocados en cada uno de las boquillas del micro aspersor, al mismo tiempo con un cronometro digital se tomaron las diferentes lecturas, con 5 repeticiones, durante el funcionamiento del sistema, posteriormente procedimos a calcular, dividiendo el volumen entre el tiempo por este medio de la siguiente ecuación se determinó el caudal.

$$Q = \frac{V}{t}$$

V= volumen (m³)

T= tiempo (s).

Radio de alcance y traslape

El radio se obtuvo eligiendo un elevador donde se pone fijo y con una cinta métrica se procedió a medir desde el micro aspersor hasta la caída de la última gota.

Distancia mayor que alcanza una cortina de agua lanzada al espacio de la manera más uniforme posible hasta donde sus capacidades de presión de salida y tipo de boquilla se lo permitan; durante un riego la acción o la influencia de una energía transferida a presión está en conjunto aleatorio con las gotas de agua que son expulsadas de un medio presurizado a otro con dicha presión atmosférica, donde este conjunto de agua pulverizada guarda direcciones similares y velocidades (Cisneros, 2010).

Cuadro 2. Coeficientes de Solapamiento (Cisneros, 2010).

Vientos (km/h)	Solapamiento según diámetro de riego del micro aspersor.
Vientos menores a 8 km h ⁻¹	70 %
Vientos entre 8 a 10 km h ⁻¹	55 %
Vientos entre 10 a 13 km h ⁻¹	50 %
Vientos mayores a 30 km h ⁻¹	30 %

Contenido de humedad del suelo

Según Cisneros (2003), el contenido de humedad está muy ligado al tipo de textura del suelo y al contenido de materia orgánica: en suelos con alto contenido de arcilla y de materia orgánica aumenta la retención total de agua, aunque también origina grandes cantidades de agua estrechamente retenidas por adhesión, en suelos de textura media tales como los francos pueden retener grandes cantidades de agua disponible, en estos el agua es retenida más suavemente, en suelos arenosos se retiene muy poca agua total y menos la cantidad de agua disponible.

Cabe mencionar que, la principal razón por la que interesa medir el contenido de humedad en un suelo es para saber cuándo se requiere regar. Por lo que se tomó una muestra representativa de suelo, de acuerdo al tamaño máximo de las partículas, en este caso se realizó 16 muestras tomadas a 20 cm de profundidad respectivamente en el centro de los cuadrados formados por los 64 pluviómetros, se colocó la muestra húmeda en un recipiente previamente pesado de volumen 100 cm³, para proceder a pesar la muestra húmeda más el cilindro. Luego se colocó el conjunto dentro del horno durante 24 horas, a una temperatura de 5 °C ± 110°C. Transcurrido dicho tiempo, se determina el peso del recipiente con la muestra seca. Luego se aplicó el método gravimétrico para el cálculo.

Método gravimétrico

Formula.

$$Ps = \frac{(psh - pss)}{pss} \times 100$$

Ps: porcentaje de humedad de suelo seco (%).

Psh: peso del suelo húmedo (g).

Pss: peso del suelo seco (g)

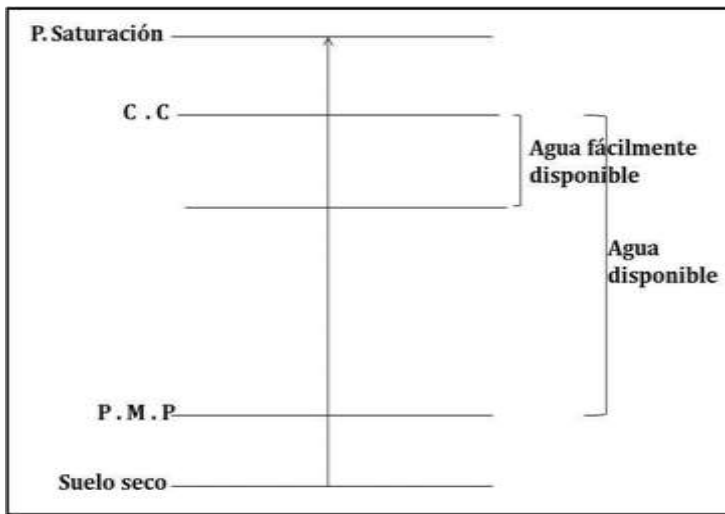


Figura 4. Niveles de humedad en el suelo

$$L_{cc} = (100 * Da * h * cc)/10$$

L_{cc} : lámina a capacidad de campo (mm)

Da : densidad aparente ($g\ cm^{-1}$)

h : profundidad de muestreo (m)

cc : humedad a capacidad de campo (%)

$$L_{pmp} = (100 * Da * h * pmp)/10$$

L_{pmp} : lámina a punto de marchitez permanente (mm)

Da : densidad aparente ($g\ cm^{-3}$)

h : profundidad de muestreo (m)

pmp : humedad a punto de marchitez permanente (%)

$$LD = (l_{cc} - L_{pmp})$$

LD : lámina neta disponible (mm)

$$LFD = 1/3LD$$

LD: lamina fácilmente disponible (mm).

3.6.2. Intensidad de aplicación

La intensidad es una característica de vital importancia y constituye un parámetro fundamental en la selección de los micro aspersores a utilizar en el sistema (Pacheco, 1995).

Se tomaron a partir de la pluviometría realizada, un promedio de cada punto pluviométrico; es decir de los 64 pluviómetros repartidos en toda el área; se obtuvo 16 puntos medios; en los que se tomó el caudal medio y el área de la embocadura de los pluviómetros.

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

I: Intensidad media del aspersor (mm h⁻¹)

Q: Gasto de trabajo (m³ s⁻¹)

A: área de pluviómetro (m²).

Coefficiente de uniformidad

La distribución correcta de la lluvia artificial sobre una superficie dada es un elemento importante a tener en cuenta en el riego por aspersión, ya que existe una relación muy estrecha entre la uniformidad del humedecimiento y los rendimientos esperados; en otras palabras, la producción agrícola a obtener dependerá de la uniformidad de la norma de riego establecida (Pacheco, 1995).

Se procedió a evaluar la uniformidad de aplicación de los micro aspersores en el campo; la prueba se realiza en función del esquema (figura 3) que están dispuestos y donde se encuentra instalado el sistema por microaspersión con 12 laterales y 102 micro aspersores; en los que se evaluaron las intensidades medias por cada punto de localización pluviométrica; es decir se evaluaron 16 intensidades de aplicación en un tiempo de 90 min de riego y a partir de las mismas se procedió al cálculo de las uniformidad de riego.

Formula de Christiansen:

$$Cu = 100 \left[1 - \frac{\sum(Li - Lm)}{nLm} \right]$$

Dónde:

Cu: Coeficiente de uniformidad expresado generalmente (%)

Li: Intensidad medida en cada pluviómetro (mm h⁻¹).

Lm: Intensidad media de todas las observaciones (mm).

N: Cantidad de observaciones.

Cuadro 3. Coeficiente de uniformidad recomendado para riego por micro aspersión (Christiansen, 1942).

BUENA	$Cu = 100 - 75 \%$
REGULAR	$Cu = 75 - 55 \%$
MALA	$Cu = < 55 \%$

Isoyeta

Este método consiste en trazar curvas de igual precipitación (isoyetas) para un período determinado en el área de estudio. Una vez trazadas las isoyetas se calculan las áreas entre líneas limítrofes, y cada una de ellas se multiplica por el promedio de precipitación del área correspondiente (Gámez, 2010).

Las isoyetas se realizaron en base a las intensidades ya calculadas, en este caso se realizó a través del programa ARGIS; el cual muestra la distribución espacial de las mismas en el área de estudio.

Una vez que termino la prueba de pluviometría, inmediatamente se georreferenció el área tomando así los puntos, en los que se encontraban los pluviómetros; en cada punto se encontraban 4 pluviómetros, distribuidos en 16 puntos, según el método, inicio 1/3, 2/3, y final.

3.6.3. Programas informáticos para el procesamiento y análisis de los datos

Uso del programa ARGIS en trazado de curvas isoyeta

El análisis espacial es uno de los factores esenciales de la existencia de Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), y es parte integrante en su propia definición, determinada por la existencia de relaciones topológicas entre los elementos constituyentes, que permite realizar cálculos entre variables y obtener así nuevos datos, de un área en estudio (SIG INETER, 2015).

En campo se procedió a la realización de levantamiento de información mediante técnica de observación directa del área de estudio y haciendo uso del Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) en los 16 puntos de muestra en pluviometría lo que nos permite considerar en todo momento el análisis de la situación actual, se analizó la realidad del sistema de riego por microaspersión a partir de los datos obtenidos en campo y así de esta manera se elaboró una base de datos geoespacial tomando en cuenta la variable intensidad; siguiendo este enfoque se obtuvo el mapa de intensidades distribuidas espacialmente.

Programa EXCEL 2016

En Microsoft Excel, un libro es el archivo en que se trabaja y donde se almacenan los datos matemáticos y estadísticos. Como cada libro puede contener varias hojas, pueden organizarse varios tipos de información relacionada en un único archivo.

En particular, Excel 2016 es una aplicación que permite crear y manipular hojas de cálculo. Esta herramienta se encuentra integrada en el conjunto de programas Microsoft Office. Por esta razón el hecho de haber utilizado Word conllevará a que nos resulte familiar el uso de Excel, ya que muchos íconos y comandos funcionan de forma similar en todos los programas de Office (Fenzl, 1989).

Programa estadístico INFOSTAD versión 2010

Los métodos y modelos del análisis multivariado, permiten explorar, describir e interpretar datos que provienen del registro de varias variables sobre un mismo caso objeto de estudio. Como las variables representan atributos de la misma unidad de análisis, usualmente están correlacionadas. No solo describe sino que toma ventaja de esta correlación para caracterizar los casos. También provee herramientas para comprender la relación (dependencia) entre las variables medidas simultáneamente sobre la misma unidad, para comparar, agrupar y/o clasificar observaciones multivariadas e incluso para comparar, agrupar y clasificar variable (Balzarini, 2015).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caudal

Para lograr una buena uniformidad de aplicación del agua será necesario que la presión en todo el micro aspersores a lo largo del ramal sea similar.

Para conseguir una buena uniformidad, es conveniente que la diferencia de caudal entre el micro aspersor que suministra menor cantidad de agua y el que más suministra, no sea mayor que el 10 % del caudal medio de todos los micro aspersores de ese ramal.

Para que el caudal que suministran los aspersores sea suficientemente homogéneo, es conveniente que las diferencias presión a lo largo de un ramal no sean mayores del 20 %. (Cisneros, 2010).

Cuadro 4. Análisis en datos de caudal.

Ramal/lateral/aspersor	Q (L/h)
RD/18/a1	276
RD/19/a1	273
RI/18/a1	258
RI/19/a1	255
media	265.5
Qmax-Qmin	21
10% del caudal	26.55

En el cuadro 4. Se aprecian los caudales que posteriormente se procedió hacer los cálculos, mostrando una media de 265.5 l h^{-1} , una diferencia entre el máximo y el mínimo de 21 l h^{-1} , y un 10 % de la media 26.55 l h^{-1} , siendo este último el caudal medio.

Como la diferencia de caudal entre el micro aspersor que más agua suministra y el que menos (21 l h^{-1}) es menor que el máximo admisible (26.55 l h^{-1}), con esta situación se puede admitir que la uniformidad es buena según (Gómez, 2010).

4.2. Presión

A la hora de realizar el diseño hidráulico de la red de riego es imprescindible tener en cuenta todas las pérdidas de carga que puedan ocasionarse, con objeto de que en el punto más desfavorable de la instalación exista suficiente presión para que el emisor suministre el agua de forma adecuada (Gómez, 2010).

Cuadro 5. Análisis de datos en presión.

N	Rama/latera /Aspersor	Presiones
1	RD/L1/a1	25
2	RD/L1/a9	20
	media	22.5
	Pmax-Pmin	5
	20% de presión media	4.5

Una vez obtenido las presiones en el caso del ramal derecho lateral uno, se procedió hacer los cálculos, mostrando una media de 22.5 PSI, una diferencia entre el máximo el mínimo de 5 PSI, y para un 20 % de la media 4.5 PSI.

Como la diferencia presión entre el aspersor más lejano y el más cercano a la tubería distribuidora es 4.5 PSI como menor y un máximo admisible de 5 PSI, estas diferencias no actúan por encima del 20 %, clasificándose así como un riego homogéneo según (Gómez, 2010).

Relación entre Caudal y presión

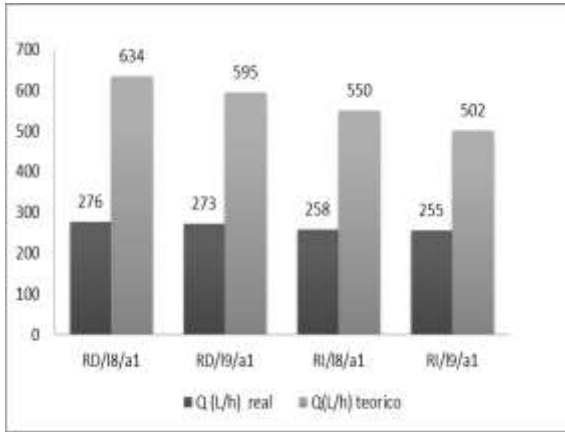


Figura 5. Comportamiento en caudales

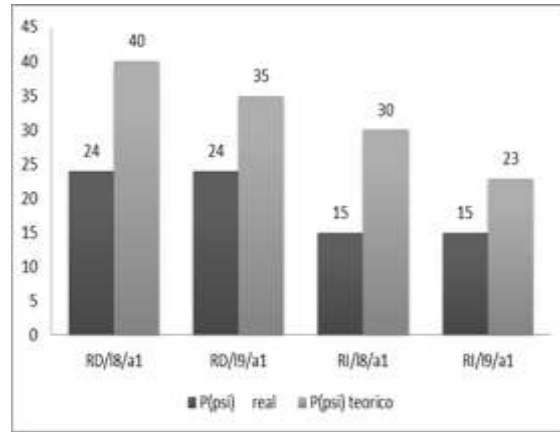


Figura 6. Comportamiento en presiones

Los datos que se muestran en la (figura 5 y 6); que la variación que existe entre caudales y presiones, tanto teóricos como reales; donde se tiene que para caudales el mínimo teórico 502 l h^{-1} y para reales 255 l h^{-1} ; siendo los máximos 634 l h^{-1} teórico y para reales 276 l h^{-1} . También se obtuvo para presiones donde las mínimas son 23 PSI teórico y 15 PSI para las reales; existiendo como máximas 40 PSI para el teórico y 24 PSI para los reales.

Se obtiene que las presiones y caudales reales son similares en su comportamientos a los teóricos; a la hora de realizar el diseño hidráulico de la red de riego es imprescindible tener en cuenta las presiones requeridas por el sistema, con objeto de que en el punto más desfavorable de la instalación exista suficiente presión para que el emisor suministre el caudal de forma adecuada (Cisneros, 2010).

4.3. Radio de alcance y traslape

El empleo correcto del tipo de aspersores o micro aspersores en instalaciones de riego supone conocer las características y presentación de los mismos. De la propia definición de aspersores se deduce la importancia de conocer el área regada por estos, por lo que es necesario hacer una buena distribución de los micros aspersores y así obtener un radio de alcance efectivo de riego. Estos elementos deben conocerse en el momento de realizar los diseños agronómicos e hidráulicos de toda instalación de riego.

Cuadro 6. Resultados de la evaluación de los radios de alcance.

N	Ramal/Lateral/Aspersor	radio(m)	Diámetro mojado DM (m)
1	RD/11/a9	8	17
2	RD/17/a9	7	15
3	RD/13/a1	9	17
4	RD/14/a1	8	17
5	RI/13/a1	9	17
6	RI/14/a1	8	16
7	RI/11/a9	8	17
8	RI/17/a9	7	14
promedio		8	16
Diámetro efectivo (95 % DM)			15
marco de plantacion (60 % DE)			9

Se presenta el análisis de resultados de la evaluación de los radios de alcance de una muestra del sistema de micro aspersor «smooth drive », donde se puede apreciar que para diferentes presión, se alcanza diferentes radios de alcance de los micro aspersor; lo que permitió obtener un diámetro efectivo de 15 m y un marco de plantación real de 9x9 m.

Según Gómez (2010), señala que para una disposición cuadrada, el marco de plantación será del 60 % del diámetro”; por ende se obtuvo que para este sistema de riego por micro aspersión será de 9 x 9 m lo que equivale a un 66 % de traslape; sin embargo, dado que la tubería es estándar de 6 m el sistema se instaló con un espaciamiento 12x12 m con un, 25 % de traslape.

4.4. Contenido de Humedad

El estudio del agua en el suelo, bajo el punto de vista agrícola, es muy importante ya que está estrechamente relacionada con la nutrición vegetal. Es por tanto necesario conocer cómo se encuentra retenida en el suelo y como se mueve a través del mismo (Gómez, 2010).

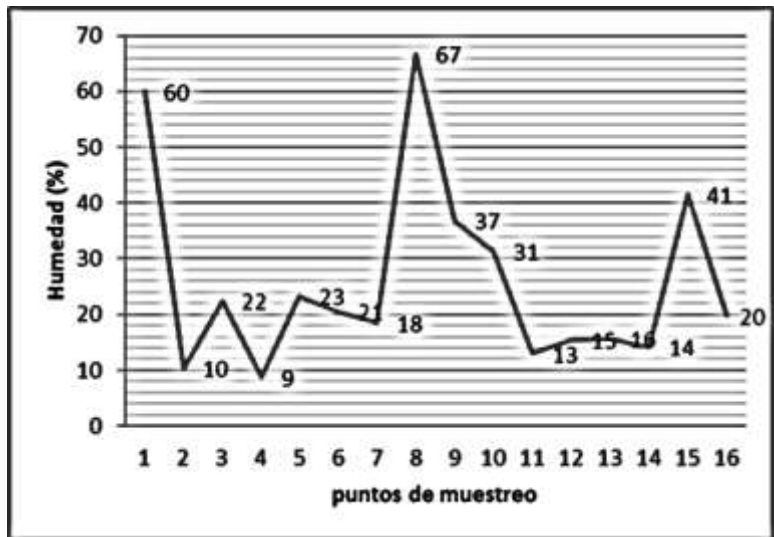


Figura 7. Humedad en porcentaje.

La Figura 7. Nos muestra los resultados obtenidos en la prueba de humedad; lo cual se analiza para los 16 puntos hay diferentes humedades; quedando tanto por encima como por debajo del porcentaje a capacidad de campo (45 %) y punto de marchitez (23.70 %).

Es decir que solo el 21.3 % está disponible para el aprovechamiento de la planta que según (Dueñas, 1981), el suelo es un reservorio que contiene cierta cantidad de agua, de la cual sólo una parte está disponible para las plantas. Esta capacidad se encuentra limitada por el agua retenida entre los niveles de humedad denominados capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP).

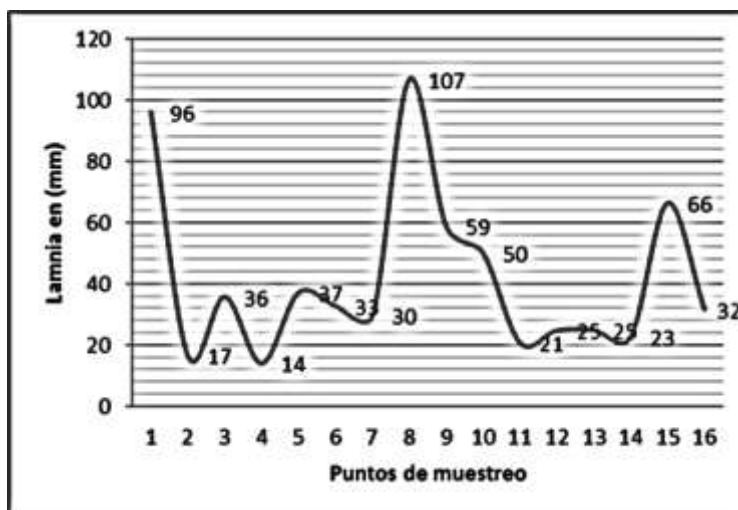


Figura 8. Lamina infiltrada.

Estos datos se muestran en el (cuadro 8), donde se encontró una lámina a capacidad de campo (76.5 mm) y así mismo para el punto de marchitez permanente (40.29 mm); donde 36.21 mm están disponible para el aprovechamiento de los cultivos y (25.5 mm) fácilmente disponible.

Con este valor (36.21 mm), se conoce que hay cierta cantidad de agua que está siendo aprovechada por la planta. El estudio del agua del suelo, bajo el punto de vista agrícola, es muy importante ya que está estrechamente relacionada con la nutrición vegetal. Es por tanto necesario conocer cómo se encuentra retenida en el suelo y como se mueve a través del mismo (Cisneros, 2010).

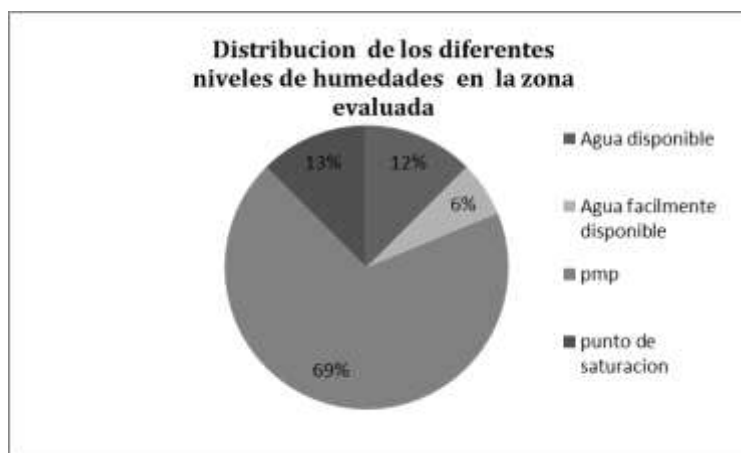


Figura 9. Distribución en porcentaje de las humedades de la zona.

La Figura 9, Se muestran los resultados obtenidos de la distribución de las humedades en la zona de evaluación; donde el 6 % pertenece a la lámina fácilmente disponible, el 12 % a la lámina disponible, 13 % a la lámina a punto de saturación y el 69 % a lámina a punto de marchitez permanente.

En este sentido se han obtenido diferentes niveles de humedad para la zona evaluada como debía de suponerse, sin embargo podría verse afectados los cultivos que se establezcan, dado que gran parte de la aérea humedecida en el suelo, está a punto de marchitez permanente (pmp); esto nos indica que los diferentes suelos tienen distintas capacidades para la retención del agua. Cuando en un suelo existe abundante agua y no se drena, las raíces de las plantas pueden morir por la carencia del oxígeno. Por otra parte, si poca agua está presente, el crecimiento de las plantas se detiene y finalmente sobreviene el marchitamiento (Cisneros, 2010).

4.5. Velocidad de infiltración

La infiltración es una propiedad física muy importante en relación con el manejo del agua de riego en los suelos. Se refiere a la velocidad de entrada del agua en el suelo. La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, se expresa generalmente en cm h^{-1} o cm min^{-1} (Ortiz, 1980).

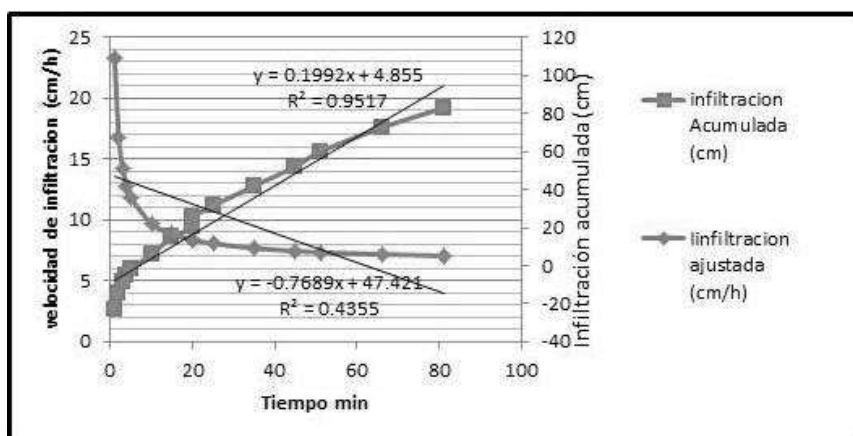


Figura 10. Velocidad de infiltración.

Al efectuarse esta prueba de infiltración en el campo, siguiendo el método de infiltrómetro de doble cilindro se obtiene los resultado (figura 10), estos muestran una velocidad de infiltración de 90 mm h^{-1} y una velocidad de infiltración básica de 31 mm h^{-1} , siendo esta última mayor a la intensidad de aplicación del aspersor 0.354 cm h^{-1} .

De acuerdo a la prueba de infiltración del suelo se determinó la infiltración básica 31 mm h^{-1} , esto quiere decir que es un suelo de permeabilidad moderada. Lo que se debe a la textura del suelo del área evaluada siendo ésta franco arcillosa (Pacheco, 1995).

4.6. Intensidad de aplicación

Existe una relación muy importante entre la velocidad de aplicación (intensidad del micro aspersor – sistema-), tiene que ser menor que la velocidad de infiltración del agua del suelo, y así evitar que se produzca encharcamiento, en otras palabras: $I_a < V_{inf}$ (Pacheco, 1995).

Cuadro 7. Resultados de intensidad.

N puntos	ia(mm/h)
1	4.28
2	4.26
3	4.89
4	2.98
5	3.8
6	3.33
7	3.66
8	4.48
9	2.04
10	5.61
11	2.61
12	3.52
13	2.22
14	3.39
15	1.89
16	3.74
Σ	56.7
promedio	3.54
σ	1.035

En el análisis de los datos referidos (cuadro 7). Se encuentran las intensidades obtenidas, estas nos muestran que en promedio se aproximan a 3.54 mm h^{-1} .

Esto nos indica que la intensidad de aplicación (ia) es menor que la velocidad de infiltración básica (31 mm h^{-1}). Lo que cumple el criterio de no encharcamiento ($I_a < V_{inf}$) (Cisneros, 2010).

4.7. Coeficiente de uniformidad

Es un elemento importante a tener en cuenta en el riego por micro aspersión, ya que existe una relación muy estrecha entre la uniformidad del humedecimiento y los rendimientos esperado (Pacheco, 1995); es decir, la producción agrícola a obtener dependerá de la uniformidad de la norma de riego establecida.

Cuadro 8. Resultados obtenidos en la evaluación de uniformidad del sistema.

puntos	ia(mm/h)	ia m	(ia-iam)
1	4.28	3.54	0.74
2	4.26	3.54	0.72
3	4.89	3.54	1.35
4	2.98	3.54	0.56
5	3.80	3.54	0.26
6	3.33	3.54	0.21
7	3.66	3.54	0.12
8	4.48	3.54	0.94
9	2.04	3.54	1.50
10	5.61	3.54	2.07
11	2.61	3.54	0.93
12	3.52	3.54	0.02
13	2.22	3.54	1.32
14	3.39	3.54	0.15
15	1.89	3.54	1.65
16	3.74	3.54	0.20
Σ	56.70		12.75
promedio	3.54		
cu (%)	78		

En el análisis del coeficiente de uniformidad de evaluación del sistema, donde se realizó la prueba en un tiempo minutos, los resultados obtenidos se muestran (cuadro 8), que aplicando la fórmula de Christiansen, se obtuvo un 78 %.

Esto nos indica que la uniformidad del sistema de riego por microaspersión de la zona evaluada es buena tomado del criterio ($Cu = 75 - 100 \%$) (Cisneros, 2010).

4.8. Relación estadística entre intensidad de aplicación y lámina infiltrada

Podemos definir el coeficiente de correlación de Pearson, como un índice que puede utilizarse para medir el grado de relación de dos variables siempre y cuando ambas sean cuantitativas.

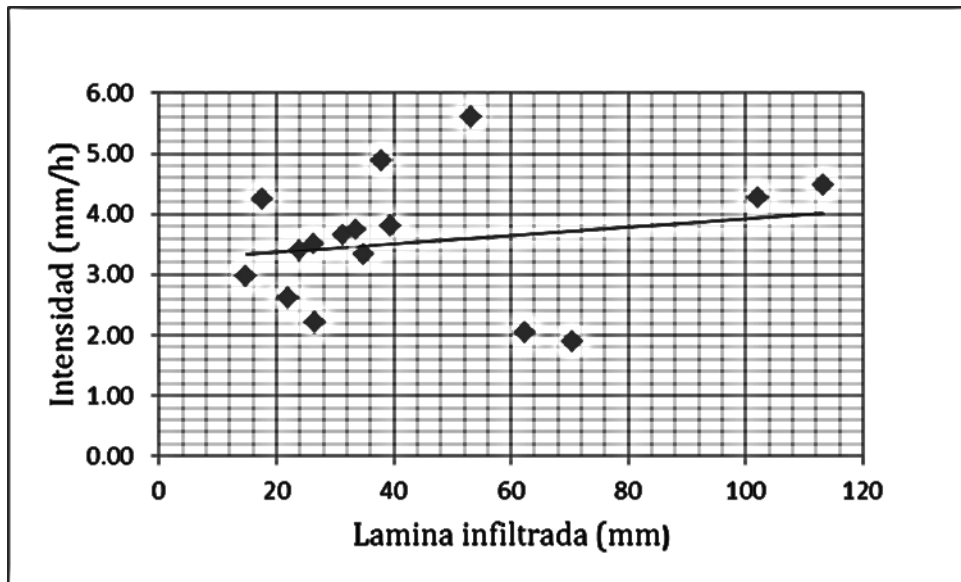


Figura 11. Correlación lineal simple, intensidad y lámina infiltrada.

Según la prueba de análisis estadístico realizada (figura 11) por coeficiente de correlación de Pearson; Con un nivel de significancia estadística del 95 % y un error del 0.005; se encontró ($p = 0.4674$); por tanto el sistema de riego por micro aspersión establecido en la zona de plátano de la finca El plantel no es uniforme en la aplicación del agua, al ser consideradas las propiedades hidrofísicas del suelo, factores del clima y diseño hidráulico.

Al hacer el análisis en base a la correlación lineal de simple, esta muestra la relación que existe entre las variables principales donde la correlación es buena según el criterio ($0.2 < p < 0.8$) (Pearson, 1990).

4.9. Isoyetas

4.9.1. Isoyetas en intensidades obtenidas en pluviometría

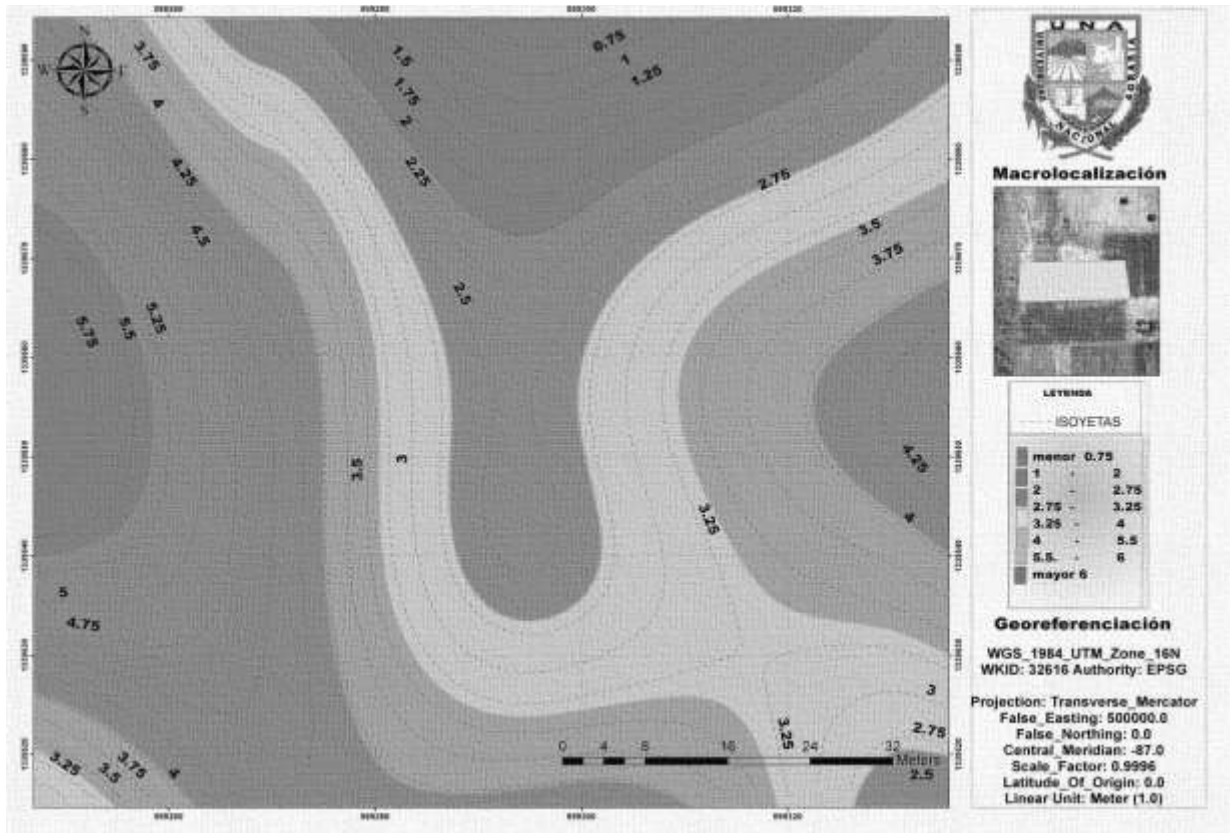


Figura 12. Mapa de isoyetas de intensidades.

En los datos obtenidos de las isoyetas (figura 12); a través del análisis espacial realizado, se encontró que el comportamiento de las intensidades (mm h^{-1}), distribuidas en el área evaluada tienen tendencias a situarse en ciertas zonas, en caso tenemos intensidades mayores a 4.6 mm h^{-1} al Oeste, 2.75 mm h^{-1} y 3.3 mm h^{-1} en la parte céntrica, y al Este menores a 2 mm h^{-1} .

En los datos obtenidos de las isoyetas; a través del análisis espacial realizado, se encontró que la distribución no es uniforme, sobre el área de estudio, en cuanto a las intensidades (mm h^{-1}); donde los valores máximos tienden a situarse al Noroeste (NW) y Sureste (SE), del área de estudio.

4.9.2. Isoyetas de láminas aplicada obtenidas en pluviometría

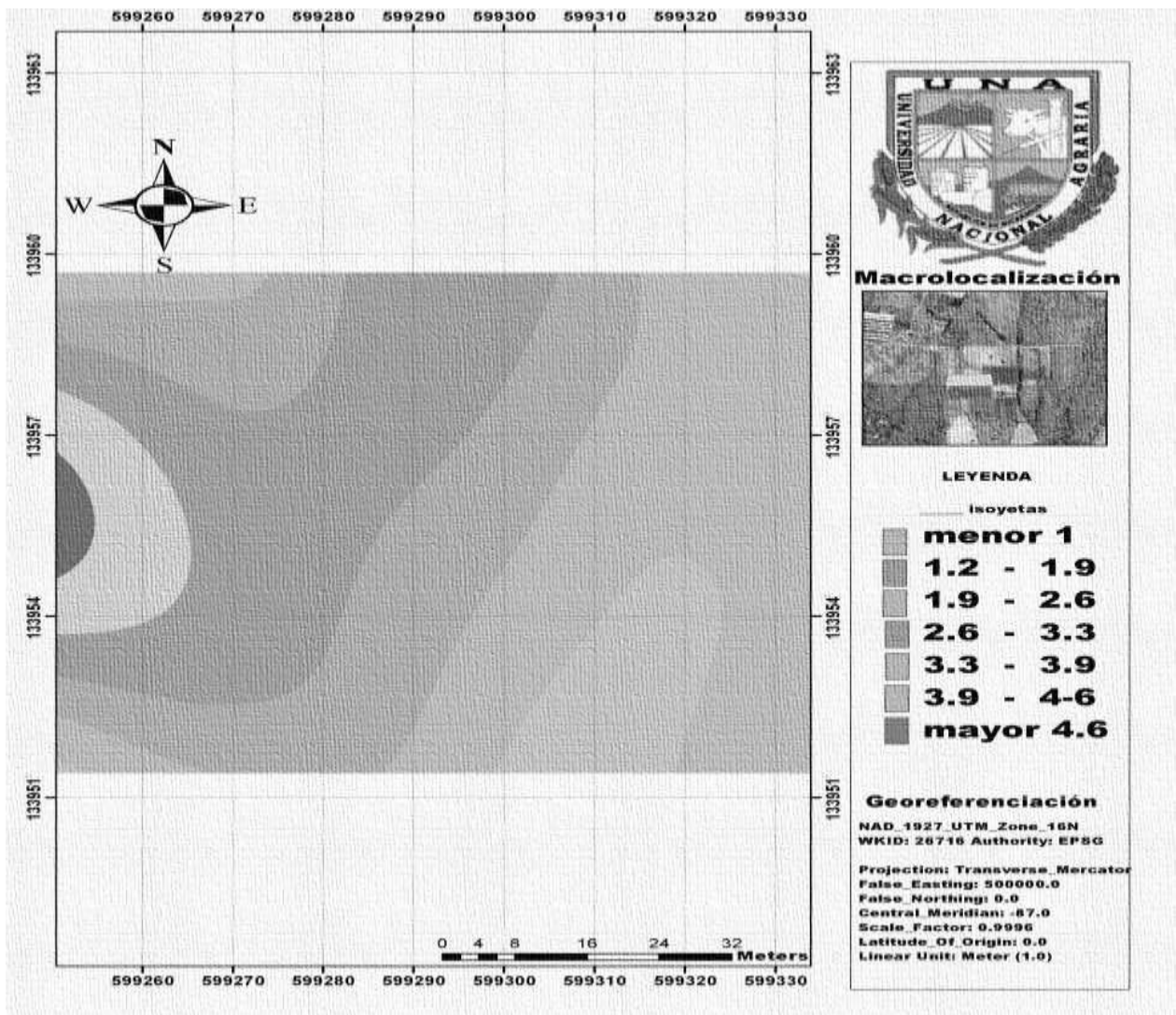


Figura 13. Mapa de isoyetas de lámina recogida.

En los datos obtenidos de las isoyetas (figura 13); a través del análisis espacial realizado, se encontró que el comportamiento de las láminas aplicada distribuidas en el área evaluada tienen tendencias a situarse en ciertas zonas, en este caso tenemos laminas mayores a 4.6 mm al Oeste, 2.6 mm y 3.3 mm en la parte céntrica, y al Este lamina menores a 1.2 mm.

Por lo tanto la distribución no es uniforme, sobre el área de estudio, en cuanto a las láminas recogida; donde la mayor concentración de las mismas se sitúa al noroeste (NW) del área de estudio.

4.9.3. Isoyetas en humedades

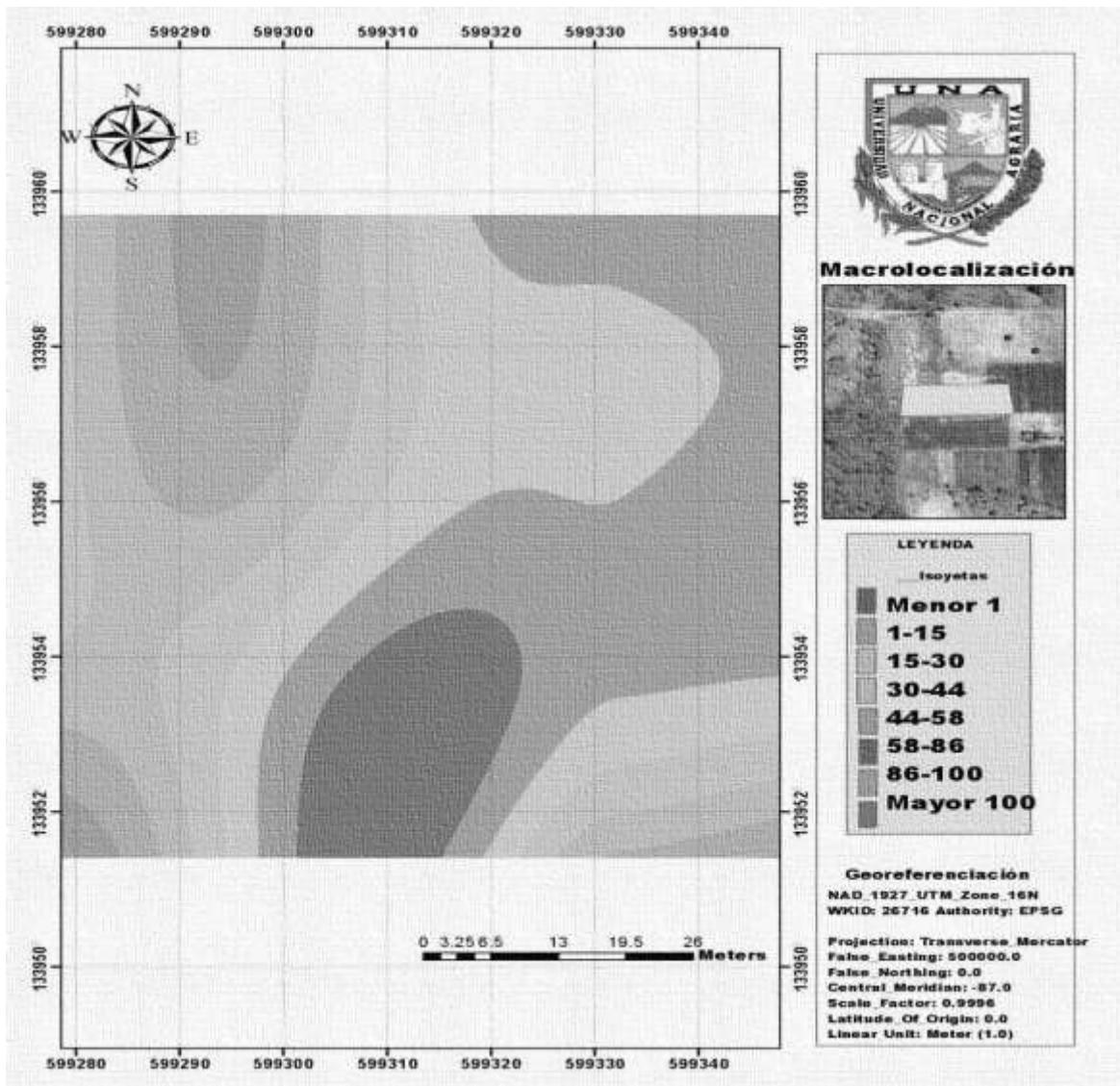


Figura 14. Mapa de isoyetas de humedad.

En los datos obtenidos de las isoyetas (figura 14); a través del análisis espacial realizado, se encontró que el comportamiento de las humedades aplicada distribuidas en el área evaluada tienen tendencias a situarse en ciertas zonas, en caso tenemos humedades mayores a 86 % al Oeste, 30 % y 44 % en la parte céntrica, y al Este humedades menores a 15 %.

En los datos obtenidos de las isoyetas; a través del análisis espacial realizado, se encontró que la distribución no es uniforme, sobre el área de estudio, en cuanto a las humedades; donde la mayor concentración de las mismas se sitúa al noroeste (NW) del área de estudio esto corresponde con las láminas aplicadas.

4.9.4. Isoyetas lamina infiltrada

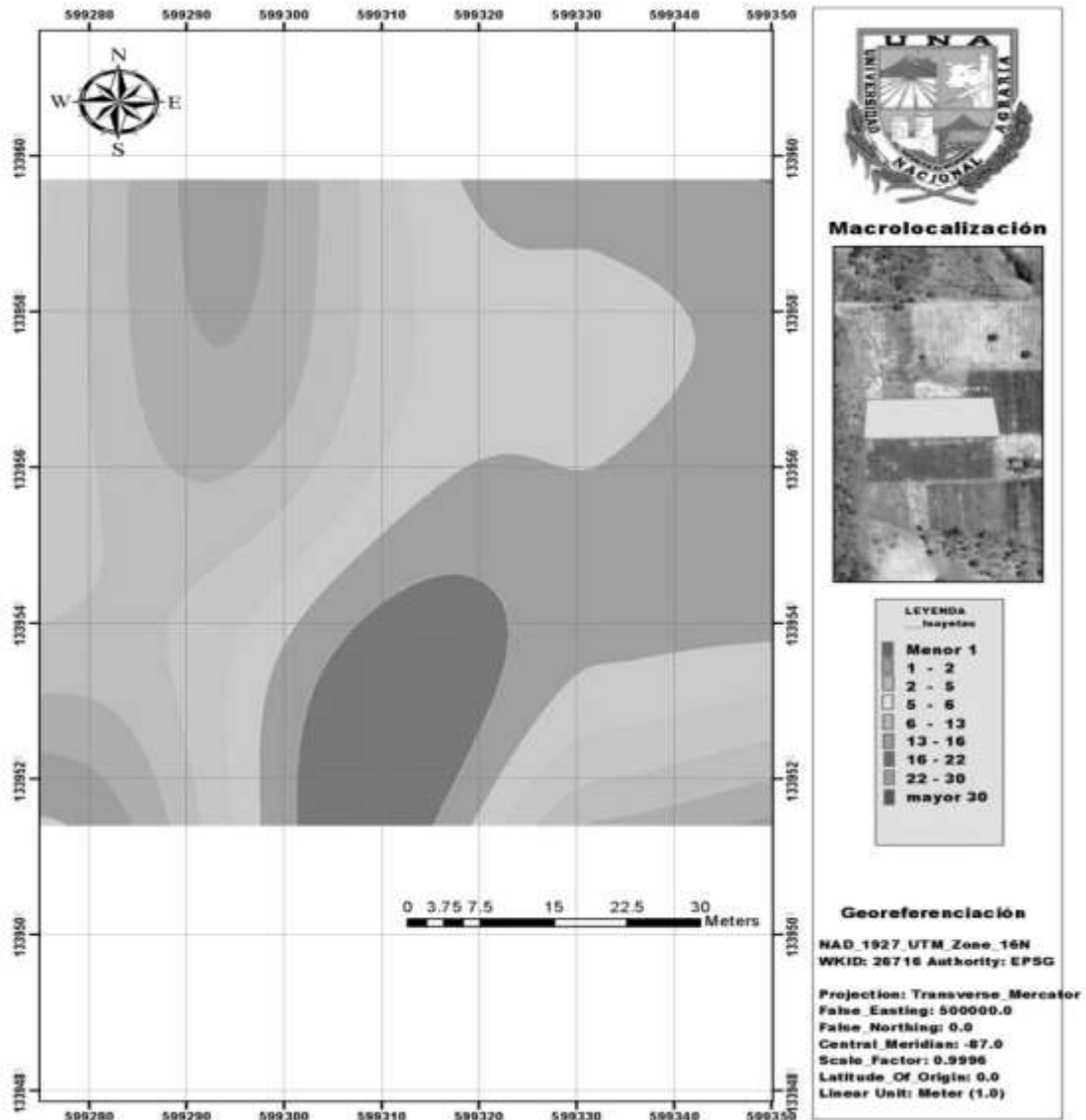


Figura 15. Mapa de isoyetas de lámina infiltrada.

En los datos obtenidos de las isoyetas (figura 15); a través del análisis espacial realizado, se encontró que el comportamiento de las lamina infiltrada en el área evaluada tienen tendencias a situarse en ciertas zonas, en caso tenemos laminas mayores a 30 mm al Oeste, 6 mm y 12 mm en la parte céntrica, y al Este lamina menores a 2 mm.

Se encontró que la distribución no es uniforme, sobre el área de estudio, en cuanto a la lámina infiltrada; donde la mayor concentración de las mismas se sitúa al Noroeste (NW) del área de estudio; correspondiendo así con las humedades.

4.10. Curvas de nivel

Siendo estas una línea recta o curva dibujada en un plano o mapa, que representa a todos los puntos ubicados en el terreno bajo un mismo nivel o altura respecto a plano horizontal de referencia (Gámez, Morales W. R, 2010).

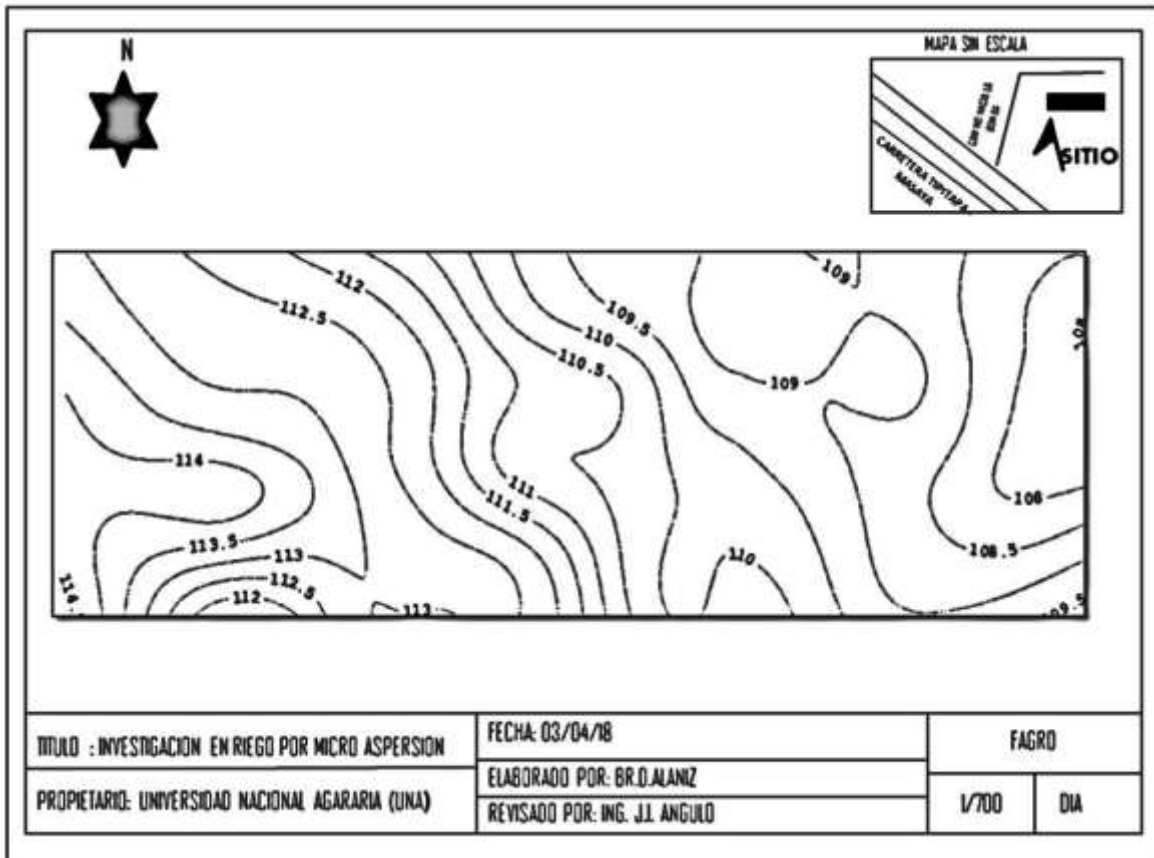


Figura 16. Curvas de nivel de la zona evaluada.

Podemos observar en la (figura 16) que el terreno en estudio es bastante coincidente en toda la distribución de sus alturas, siendo está en sus punto más bajos a (108 msnm) y en sus puntos más altos (114 msnm).

Las cuales nos muestran una área con curvas suaves clara tendencia de un área plana en el lado Oeste y en el lado Este; cabe mencionar que, estas corresponden a las zonas con sobre humedecimiento; por tal razón fue de suma importancia conocer su comportamiento; donde la selección del método de riego se basa en criterios que tienen relación con el cultivo, suelo, topografía, economía, clima, disponibilidad de mano de obra, así como labores vinculadas con el desarrollo físico, manejo del riego y administración general del predio (Cisneros, 2010).

V. CONCLUSIONES

Una vez evaluado el sistema de riego por micro aspersión en área de plátano; se determinó que el coeficiente de uniformidad por cristhiansen con un resultado de 78%, clasificada como buena.

Los valores más altos de humedad y lámina infiltrada se dan en los extremos de laterales debido a efectos de la topografía, debido a que la tubería distribuidora se encuentra en la zona más alta del área y los laterales a ambos lados tienen pendientes descendentes.

En los resultados obtenidos de los parámetros hidráulicos, estos muestran que el que influye más en la uniformidad es el traslape entre diámetro de mojado, debido a que el adecuado es de 66 % a una disposición de 9 x 9 más sin embargo dado que la tubería es estándar de 6 m el sistema se instaló con un espaciamiento 12x12 m con 25 % de traslape.

VI. RECOMENDACIONES

Realizar un análisis completo de régimen de riego en el cultivo de plátano en sus diferentes etapas fenológicas.

Establecer un cronograma de actividades con el responsable del área orientada a las actividades de mantenimiento y revisión del correcto funcionamiento del sistema.

Evaluar el funcionamiento del sistema de riego en cada campaña de riego teniendo el estudio realizado de uniformidad como base preliminar.

Establecer ensayos donde se evalué la uniformidad de riego y las características de los cultivos.

VII. LITERATURA CITADA

- Balzarini M., Bruno C., Córdoba M. y Teich I. 2015. Herramientas en el Análisis Estadístico Multivariado. Escuela Virtual Internacional CAVILA. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, AR.
- CIRA -UNAM. Los recursos hídricos de Nicaragua. Pág. 4 y 5. Bajado el 24/01/2014, del sitio web siguiente: www.cira-unan.edu.ni/media/documentos/nicaragua.pdf.
- Cisneros A.R. (2010). Apuntes de la materia de riego y drenaje (2da ed.). San Luis Potosí. P. 164
- Cuenta reto del milenio. Estrategias y plan de acción de las cuencas hidrográficas de occidente. Pág. 4, 5 y 6. Bajo el 24/01/2014, de sitio web. www.sinia.net.ni/index.php/documentos?view=desktop.
- Dueñas, Assenov, A (1981). El riego. Editorial Puebla y educación. P. 215, 233
- Gómez (2010). Consejería de agricultura y pesca. segunda edición. Sevilla. ISBN 978_84_8474_134_3.
- Fassio, Pascual, Suarez, (2006). Introducción a la metodología de la investigación. Aplicada al saber y al análisis organizacional. Segunda edición. Buenos Aires- AR ISBN.:950-537-610-3.
- INETER (2015). Dirección general de meteorología, datos de parámetros climatológicos, precipitación máxima, evaporación y temperaturas máximas de la estación del aeropuerto internacional de Managua, NI.
- Junta de Andalucía. Procedimiento para realizar evaluaciones del riego por aspersión. 24/01/2014, Bajo del sitio web. www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca//protocoloaspersion.pdf
- MAGFOR (2008). Subprograma Desarrollo y Reactivación del Riego para Contribuir a la Seguridad Alimentaria en Nicaragua. Octubre. P. 5.
- Norbert Fenzl (1989). Geografía, clima, geología e hidrogeología. Editorial UFPA. P. 4,5.

Pacheco, Norberto, P (1995). Riego y drenaje .Editorial puebla y educación. p. 224-227.

Sampieri, Collado, Lucio, (2010). Metodología de la investigación. Quinta edición.
ME. D.F. ISBN: 978-607-15-0291-9.

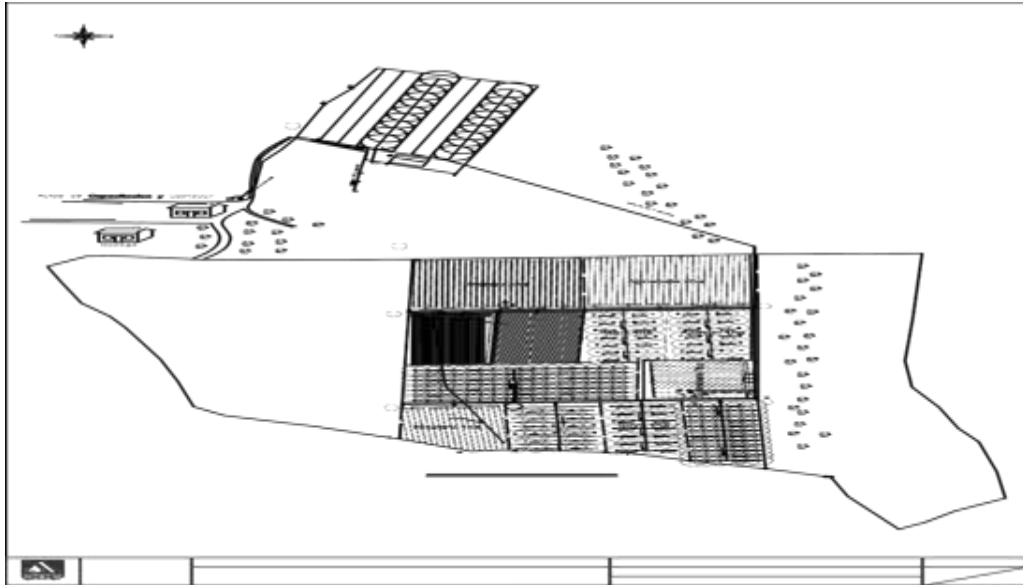
Servicios de asesoría metodológica. Tesis de investigación. Sitio web tomado
22/10/2016. <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2011/06/el-marco-teorico.html>.

Valverde, J.C (2000). Reimpresión de la primera edición. Edición San José, CR. Riego y drenaje.

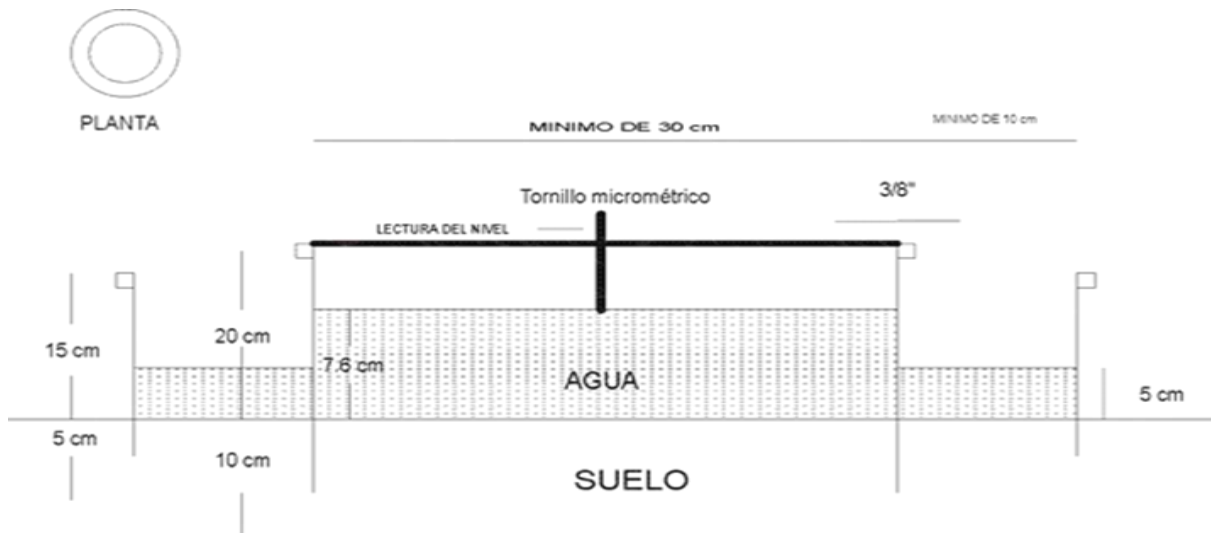
ANEXOS

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Mapa de sistemas de aspersión instalados por AQUATEC, El Plantel-UNA.



Anexo 2. Cilindros infiltrómetro de doble anillo.



Anexo 3. Datos obtenidos de la prueba de infiltración.

Tiempo h:min	t (min)	lamina infiltrada (cm)	lamina infiltrada (mm)	tiempo acumulado en (min)	lamina acumulada (mm)	infiltracion calculada (mm/min)
09:25	...	...	11	...	...	...
09:26	1	1	8.4	2.6	2.6	156
09:27	1	2	7	1.4	4	84
09:28	1	3	6.1	0.9	4.9	54
09:29	1	4	5.6	0.5	5.4	30
09:30	1	5	5	0.6	6	36
09:31	...	5	9	...	...	...
09:36	5	10	7.8	1.2	7.2	14.4
09:41	5	15	6.4	1.4	8.6	16.8
09:46	5	20	5.6	0.8	9.4	9.6
09:51	5	20	4.8	0.8	10.2	9.6
09:52	...	20	11	...	...	...
09:57	5	25	10.1	0.9	11.1	10.8
10:03	10	35	8.4	1.7	12.8	10.2
10:13	10	45	6.8	1.6	14.4	9.6
10:23	10	51	5.6	1.2	15.6	7.2
10:24	...	51	10	...	...	...
10:39	15	66	8	2	17.6	8
10:54	15	81	6.4	1.6	19.2	6.4

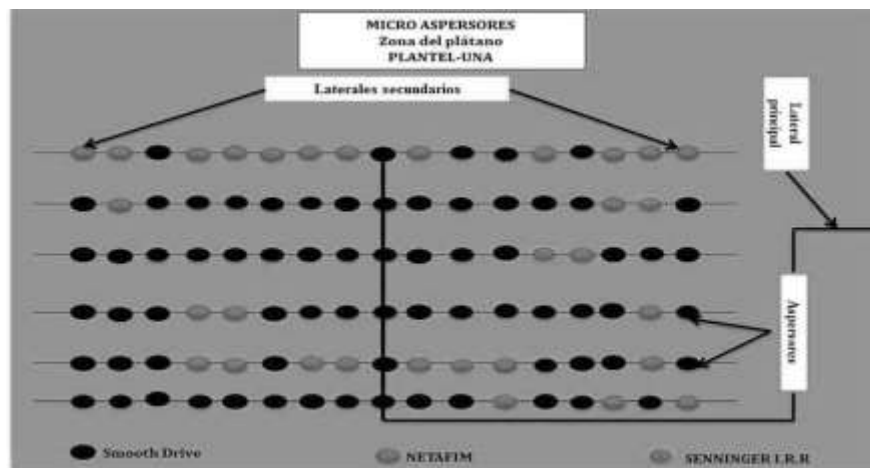
Anexo 4. Modelo para obtener la velocidad de infiltración.

Tiempo Acumulado (min)	velocidad de infiltracion (cm/h)	$\log t.xi$	$\log I.yi$	Xi^2	Yi^2	$Xi Yi$	infiltracion Ajustada (Cm/h)
1	156	0.00000	2.1931	0.0000	4.8098	0.00000	109.0290
2	84	0.3010	1.9243	0.0906	3.7029	0.5793	67.3385
3	54	0.4771	1.7324	0.2276	3.0012	0.8266	50.7976
4	30	0.6021	1.4771	0.3625	2.1819	0.8893	41.5896
5	36	0.6990	1.5563	0.4886	2.4221	1.0878	35.6133
10	14.4	1.0000	1.1584	1.0000	1.3418	1.1584	21.9955
15	16.8	1.1761	1.2253	1.3832	1.5014	1.4411	16.5925
20	9.6	1.3010	0.9823	1.6927	0.9649	1.2780	13.5848
20	9.6	1.3010	0.9823	1.6927	0.9649	1.2780	13.5848
25	10.8	1.3979	1.0334	1.9542	1.0680	1.4447	11.6327
35	10.2	1.5441	1.0086	2.3841	1.0173	1.5573	9.2064
45	9.6	1.6532	0.9823	2.7331	0.9649	1.6239	7.7306
51	7.2	1.7076	0.8573	2.9158	0.7350	1.4640	7.0864
66	8	1.8195	0.9031	3.3107	0.8156	1.6432	5.9235
81	6.4	1.9085	0.8062	3.6423	0.6499	1.5386	5.1374
Sumatoria	462.6	16.8882	18.8223	23.8782	26.1413	17.8100	27.7895

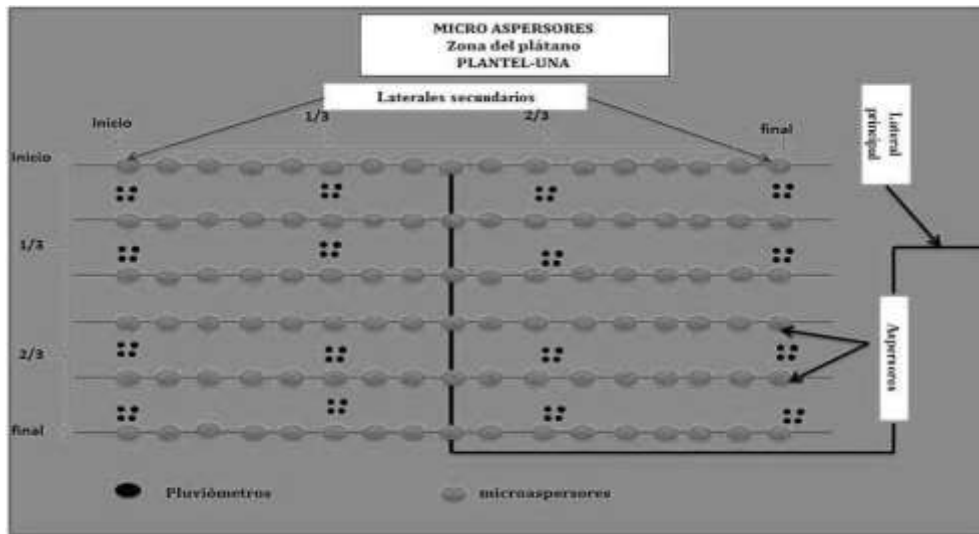
Anexo 5. Contiene los valores de la velocidad de infiltración, ajustada.

Tiempo acumulado (min)	Infiltración ajustada (cm/h)
1	109
2	67
3	51
4	42
5	36
10	22
15	17
20	14
20	14
25	12
35	9
45	8
51	7
66	6
81	5

Anexo 6. Distribución de micro aspersores en zona evaluada.



Anexos 7. Disposición pluviométrica.



Anexo 8. Marco de plantación de pluviómetros.

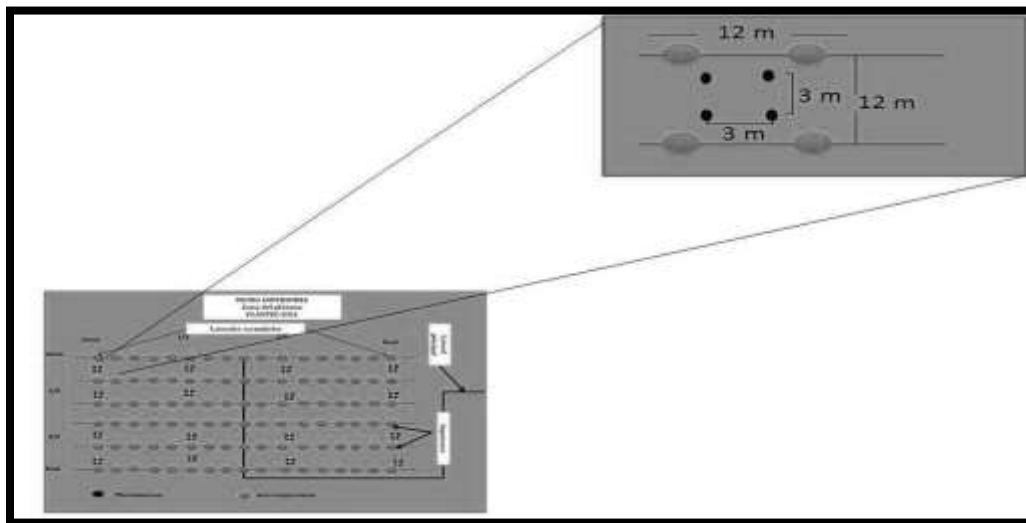
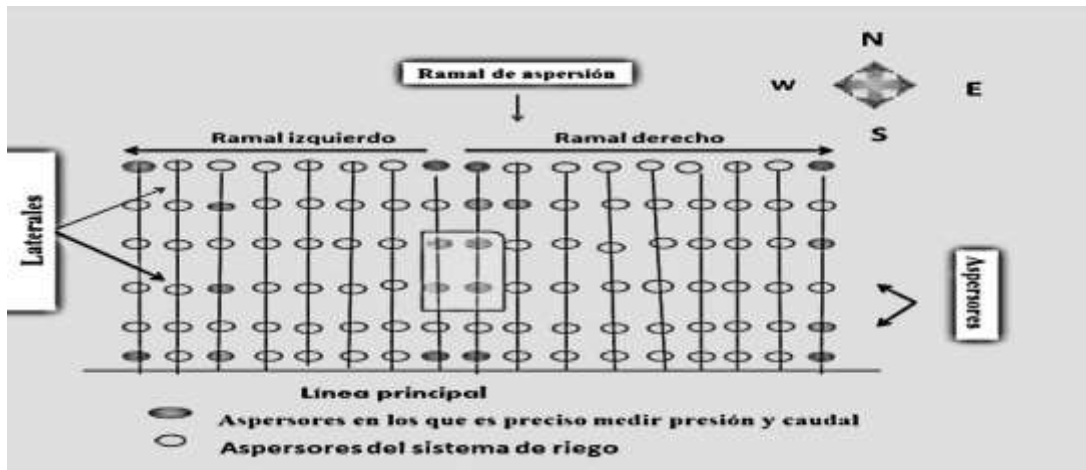


Figura 9. Puntos de toma de datos presión y caudal.



Anexo 10. Datos de presión recolectados en la zona evaluada.

N	Ramal/lateral/ Aspersor	Presiones (psi)
1	RD/L1/a1	25
2	RD/L1/a9	20
3	RI/L1/a1	23
4	RI/L1/a6	15
5	RD/L2/a1	24
6	RD/L3/a1	15
7	RI/L2/a1	24
8	RI/L3/a1	15
9	RD/L6/a1	16
10	RD/L6/a9	14
11	RI/L6/a1	15
12	RI/L6/a8	11

Anexo 11. Radio mojado de micro aspersores.

N	Lateral/Aspersor	R (m)
1	RD/l1/a9	8.3
2	RD/l7/a9	7.3
3	RD/l3/a1	8.5
4	RD/l4/a1	8.3
5	RI/l3/a1	8.5
6	RI/l4/a1	7.9
7	RI/l1/a9	8.3
8	RI/l7/a9	7

Anexo 12. Datos obtenidos en muestreo de suelo en la zona, bajo riego por microaspersión Plantel-UNA. Peso del tarrito vacío (ptv), peso del suelo húmedo con el tarrito (psht), peso del suelo seco con el tarrito (psst) y peso del suelo seco (pss).

profundidad (mm)	ptv (g)	psht (g)	psst (g)	pss (g)
200	19.5	23.5	22	2.5
200	21.6	60	56.4	34.8
200	20.1	31.6	29.5	9.4
200	21.2	61	57.8	36.6
200	19.6	28.1	26.5	6.9
200	19.6	29	27.4	7.8
200	21.6	44.7	41.1	19.5
200	20	25	23	3
200	19.8	26.5	24.7	4.9
200	20	28.4	26.4	6.4
200	20.5	42.3	39.8	19.3
200	19.3	29	27.7	8.4
200	22	51.7	47.7	25.7
200	21.8	52.5	48.7	26.9
200	19.7	25.5	23.8	4.1
200	19.7	30	28.3	8.6

Anexo 13. Datos de campo, referenciación espacial con GPS.

puntos	coordenadas	
	X	Y
1	599376	1339526
2	599375	1339547
3	599379	1339573
4	599379	1339587
5	599317	1339584
6	599312	1339557
7	599299	1339537
8	599283	1339522
9	599222	1339521
10	599221	1339541
11	599922	1339569
12	599223	1339588
13	599187	1339579
14	599184	1339554
15	599187	1339530
16	599186	1339520

Anexo 14. Análisis estadístico de correlación entre variables.

Nueva tabla: 01/02/2018 - 09:08:31 a.m. - [Versión: 11/09/2017]

Análisis de regresión lineal.

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Intensidad mm/h	16	0.04	0.00	1.37	50.92	53.24

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados.

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	3.23	0.49	2.18	4.29	6.60	<0.0001			
Lamina infiltrada mm	0.01	0.01	-0.01	0.03	0.75	0.4674	1.59	1.00	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.62	1	0.62	0.56	0.4674
Lamina infiltrada mm	0.62	1	0.62	0.56	0.4674
Error	15.52	14	1.11		
Total	16.14	15			

Anexo 15. Localización de levantamiento de puntos con GPS.

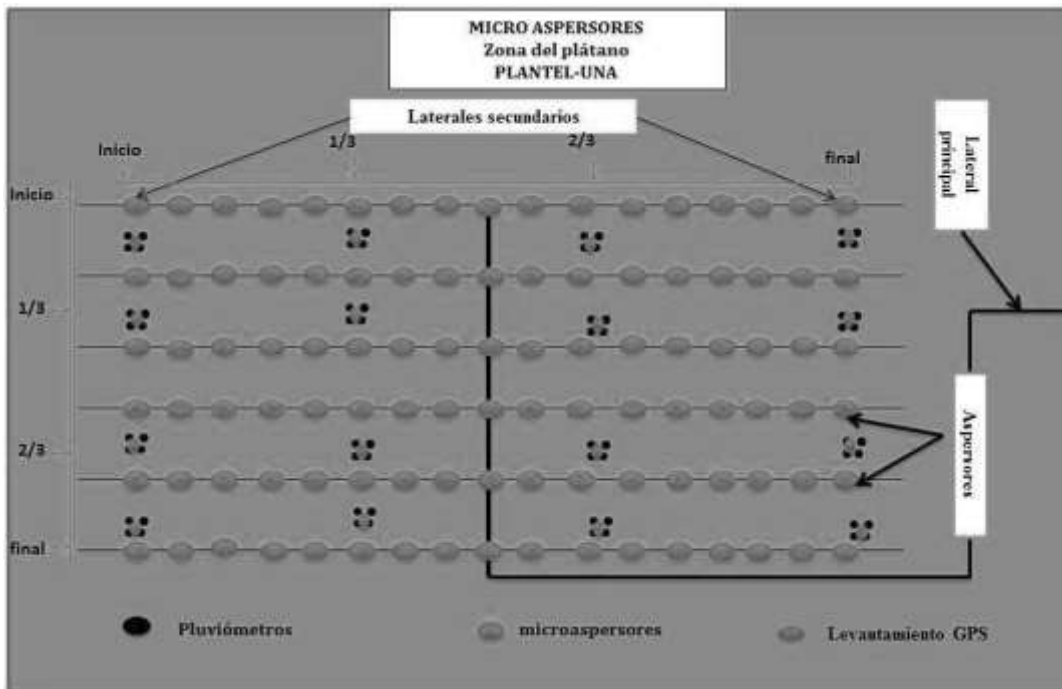


Tabla 16. Base de datos para la construcción de isoyetas.

ID	X	Y	Z
1	599376	1339526	2.98
2	599375	1339547	4.89
3	599379	1339573	4.26
4	599379	1339587	4.28
5	599317	1339584	2.04
6	599312	1339557	3.52
7	599299	1339537	2.61
8	599283	1339522	3.80
9	599222	1339521	3.33
10	599221	1339541	5.61
11	599922	1339569	2.22
12	599223	1339588	3.74
13	599187	1339579	1.89
14	599184	1339554	3.39
15	599187	1339530	4.48
16	599186	1339520	3.66

Anexo 17. Tabla de funcionamiento “smooth drive”.

Smooth Drive

Presión en la base del aspersor [psi]	25	30	35	40	Presión en la base del aspersor [bar]	1.72	2.07	2.41	2.76
Boquilla #6 - Oro [3/32"]					Boquilla #6 - Oro [2.38 mm]				
Caudal [gpm]	1.22	1.34	1.45	1.55	Caudal [L/hr]	277	304	329	352
LA Diám. a 1.5 pies alt [pies]	60.6	62.4	64.0	65.1	LA Diám. a 0.46m [m]	18.5	19.0	19.5	19.8
HA Diám. a 1.5 pies alt [pies]	61.8	64.4	66.5	68.2	HA Diám. a 0.46m [m]	18.8	19.6	20.3	20.8
Boquilla #7- Lima [7/64"]					Boquilla #7- Lima [2.78 mm]				
Caudal [gpm]	1.68	1.84	1.99	2.12	Caudal [L/hr]	382	418	452	482
LA Diám. a 1.5 pies alt [pies]	62.4	64.1	65.7	66.8	LA Diám. a 0.6m [m]	19.0	19.5	20.0	20.4
HA Diám. a 1.5 pies alt [pies]	65.8	68.5	70.6	72.4	HA Diám. a 0.46m [m]	20.1	20.9	21.5	22.1
Boquilla #8 - Lavanda [1/8"]					Boquilla #8 - Lavanda [3.18 mm]				
Caudal [gpm]	2.21	2.42	2.62	2.79	Caudal [L/hr]	502	550	595	634
LA Diám. a 1.5 pies alt [pies]	63.9	65.7	67.3	68.6	LA Diám. a 0.46m [m]	19.5	20.0	20.5	20.9
HA Diám. a 1.5 pies alt [pies]	70.4	72.7	74.8	76.0	HA Diám. a 0.46m [m]	21.5	22.2	22.8	23.2

El rendimiento de los aspersores puede variar en condiciones reales de campo. Hay otros tamaños de boquillas disponibles; consultar a fábrica para datos específicos de rendimiento. La altura mínima recomendada es de 1.5 pies [0.46 m].

Anexo 18. Datos de aforo.

N	Ramal/Lateral/ aspersor	Tiempo llenado (min)	volumen (lt)	Caudal (lt/h)
1	RI/L3/a3	4.2	19.16	274
2	RI/L4/a4	4.5	19.16	255
3	RD/L3/a3	4.15	19.16	277
4	RD/L4/a4	4.45	19.16	258

Anexo 19. Levantamiento de datos pluviométricos.

N	Codigo del pluviometro	Volumen (cm3)	Area de envocadura del pluviometro (cm2)
1	13	40	81.07
2	61	40	81.07
3	128	39	81.07
4	74	89	81.07
5	46	55	81.07
6	140	55	81.07
7	89	72	81.07
8	14	25	81.07
9	141	88	81.07
10	90	30	81.07
11	16	80	81.07
12	43	40	81.07
13	34	22	81.07
14	38	75	81.07
15	108	33	81.07
16	123	15	81.07
17	75	40	81.07
18	30	65	81.07
19	100	40	81.07
20	145	40	81.07
21	85	39	81.07
22	48	45	81.07
23	82	40	81.07
24	130	38	81.07
25	105	60	81.07
26	60	50	81.07
27	99	30	81.07
28	111	38	81.07
29	136	85	81.07
30	57	38	81.07
31	51	45	81.07
32	68	50	81.07
33	80	20	81.07
34	104	25	81.07
35	97	35	81.07
36	49	19	81.07
37	12	52	81.07
38	132	61	81.07
39	138	50	81.07
40	79	110	81.07

N	Codigo del pluviometro	Volumen (cm3)	Area de envocadura del pluviometro (cm2)
41	29	19	81.07
42	18	40	81.07
43	133	38	81.07
44	17	30	81.07
45	84	40	81.07
46	47	52	81.07
47	74	49	81.07
48	59	30	81.07
49	58	10	81.07
50	119	40	81.07
51	109	30	81.07
52	82	28	81.07
53	116	40	81.07
54	22	50	81.07
55	107	40	81.07
56	25	35	81.07
57	63	10	81.07
58	23	10	81.07
59	4	62	81.07
60	76	10	81.07
61	40	40	81.07
62	19	40	81.07
63	93	52	81.07
64	6	50	81.07

Anexo 20. Comparación en caudales y presiones, reales vs teóricos.

Ramal/lateral/aspersor	Q (L/h) real	Q(L/h) teorico	P(psi) real	P(psi) teorico
RD/18/a1	276	634	24	40
RD/19/a1	273	595	24	35
RI/18/a1	258	550	15	30
RI/19/a1	255	502	15	23

Anexo 21. Contenido de humedad en la zona evaluada.

profundidad (mm)	ptv (g)	psht (g)	psst (g)	pss (g)	hp (%)	lamina (mm)
200	19.5	23.5	22	2.5	60	96
200	21.6	60	56.4	34.8	10	17
200	20.1	31.6	29.5	9.4	22	36
200	21.2	61	57.8	36.6	9	14
200	19.6	28.1	26.5	6.9	23	37
200	19.6	29	27.4	7.8	21	33
200	21.6	44.7	41.1	19.5	18	30
200	20	25	23	3	67	107
200	19.8	26.5	24.7	4.9	37	59
200	20	28.4	26.4	6.4	31	50
200	20.5	42.3	39.8	19.3	13	21
200	19.3	29	27.7	8.4	15	25
200	22	51.7	47.7	25.7	16	25
200	21.8	52.5	48.7	26.9	14	23
200	19.7	25.5	23.8	4.1	41	66
200	19.7	30	28.3	8.6	20	32
Lamina a (CC)						76.5
Lamina a (PMP)						40.29
Lamina disponible (LD)						36.21
lamina facilmente disponible (LFD)						25.5