

Evaluación del funcionamiento del sistema automatizado de riego por goteo en macrotúneles en zona III, Zamorano, Honduras

Carlos Andrés Lynch Lamilla

ZAMORANO

Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria

Noviembre, 2006

ZAMORANO
Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria

**Evaluación del funcionamiento del sistema automatizado de riego
por goteo en macrotúneles en zona III, Zamorano, Honduras**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
Al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por

Carlos Andrés Lynch Lamilla

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2006

El autor concede a Zamorano permiso
Para reproducir y distribuir copias de este
Trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

Carlos Andrés Lynch Lamilla

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2006

Evaluación del funcionamiento del sistema automatizado de riego por goteo en macrotúneles en zona III, Zamorano, Honduras

Presentado por:

Carlos Andrés Lynch Lamilla

Aprobado por:

Francisco Álvarez, M.A.E.
Asesor Principal

Abelino Pitty, Ph.D.
Director Interino Carrera
de Ciencia y Producción
Agropecuaria

Gloria Arévalo de Gauggel, M.Sc.
Asesor

George Pilz, Ph.D.
Decano Académico

Alfredo Rueda, Ph.D.
Coordinador de Área
Temática Fitotecnia

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

DEDICATORIA

A Dios por permitirme cerrar otro círculo de mi vida y comenzar uno nuevo.

A mi familia por brindarme todo el apoyo necesario.

A mis sobrinos: María Isabel, Segundo Andrés, Natalia Estefanía y María Valentina para que este documento funcione como un incentivo para ellos.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por darme siempre lo mejor.

A mi hermano del alma, Segundo Ramos Lamilla, por su apoyo incondicional.

Al Ing. Francisco Álvarez, la Ing. Gloria Arévalo de Gauggel y la Ing. Judith Ordoñez por la ayuda en la realización de este documento.

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron con la ayuda de este trabajo.

A todos mis colegas por los momentos compartidos.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADOR

A Fundación Nippon por cubrir mis estudios universitarios en Zamorano.

RESUMEN

Lynch, C. 2006. Evaluación del funcionamiento del sistema automatizado de riego por goteo en macrotúneles en zona III, Zamorano, Honduras. Proyecto especial de Ingeniero Agrónomo en Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano, Honduras. 28 p.

Los problemas que se derivan de la mala uniformidad se traducen en un mal reparto de agua y abonos, encontrando plantas con exceso de nutrientes, riesgos de fitotoxicidad y/o quemado, derroche de abonos y otras carentes de ellos. El objetivo del estudio fue evaluar el funcionamiento del sistema de riego por goteo instalado bajo condiciones de Zamorano. El ensayo se llevó a cabo en los macrotúneles B y G, localizados en zona III, Zamorano. En cada macrotúnel se seleccionaron 20 goteros tipo botón, que tenían incorporado un montaje araña con cuatro microtubos con goteros tipo flecha al extremo. Se instalaron recipientes plásticos con capacidad de 2 L que fueron posicionados junto a los goteros seleccionados. Los goteros tipo flecha se metían en los recipientes recolectores antes de empezar los riegos. Al final del riego, se midieron los volúmenes de agua recolectada por los recipientes con ayuda de probetas graduadas. Luego se midió la conductividad eléctrica (CE) y pH de la solución de fertiriego con lectores de CE y pH. Las variables analizadas fueron: Uniformidad de distribución (UD), coeficiente de uniformidad (CU), coeficiente de variación de fabricación de goteros (CV), coeficiente de riego (SC), CE y pH. La UD de los goteros tipo botón fue 0.9 en el macrotúnel B y 0.85 en el G, para goteros tipo flecha los valores fueron 0.75 en el macrotúnel B y 0.65 en el G. El CU con relación a goteros tipo botón fue superior a 0.87 y para los goteros flecha fue 0.9 en el macrotúnel B y 0.82 en el G. El coeficiente de variación de fabricación para los goteros tipo botón fue 0.02 y para los goteros tipo flecha fue 0.08. El SC, tomando un 5% como área crítica, fue 1.29 para el macrotúnel B y 1.59 para el G con respecto a goteros tipo botón, y 3.2 para el macrotúnel B y 7.2 para el G con relación a goteros flecha. La CE del agua de riego llega 38% más baja al macrotúnel B y 24% más baja al G comparadas con la del sensor ubicado en el cabezal de riego. El pH del agua de riego permaneció estable entre 6 y 7. Los primeros eventos de riego mostraron una baja uniformidad que afectó directamente las variables de uniformidad total promedio, se observa que conforme avanzan los eventos de riego mejoraron los datos de uniformidad probablemente a un mejor manejo del sistema de riego.

Palabras clave: Coeficiente de riego (SC), coeficiente de uniformidad (CU), coeficiente de variación de fabricación de goteros (CV), conductividad eléctrica (CE), uniformidad de distribución (UD), pH.

CONTENIDO

Portadilla.....	ii
Autoría.....	iii
Página de firmas.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Agradecimientos a patrocinador.....	vii
Resumen.....	viii
Contenido.....	ix
Índice de cuadros.....	xi
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos.....	xiv
 1. INTRODUCCIÓN.....	 1
 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	 3
2.1 UBICACIÓN.....	3
2.2. MACROTÚNELES.....	3
2.3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO.....	3
2.3.1 Cabezal de riego.....	3
2.3.2 Equipo de filtración.....	4
2.3.3 Equipo de fertilización.....	4
2.3.4 Control del riego.....	5
2.3.5 Tuberías y goteros.....	6
2.4 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO.....	7
2.4.1 Distribución de goteros.....	7
2.4.2 Colección de agua.....	7
2.4.3 Medición de la conductividad eléctrica y pH.....	8
2.5 VARIABLES ANALIZADAS.....	8
2.5.1 Uniformidad de distribución (UD).....	8
2.5.2 Coeficiente de uniformidad (CU).....	9
2.5.3 Coeficiente de riego (SC).....	9
2.5.4 Coeficiente de variación (CV).....	10
2.5.5 Conductividad eléctrica del agua de riego (CE).....	10
2.5.6 pH del agua de riego.....	11
 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	 12
3.1 UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN (UD).....	12
3.1.1 Gotero tipo botón.....	12
3.1.2 Gotero tipo flecha.....	13

3.2	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU).....	14
3.2.1	Gotero tipo botón.....	14
3.2.2	Gotero tipo flecha.....	15
3.3	COEFICIENTE DE RIEGO (SC).....	16
3.3.1	Gotero tipo botón.....	16
3.3.2	Gotero tipo flecha.....	17
3.4	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV).....	18
3.4.1	Gotero tipo botón.....	18
3.4.2	Gotero tipo flecha.....	19
3.5	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA DE RIEGO.....	20
3.6	pH DEL AGUA DE RIEGO.....	21
4.	CONCLUSIONES.....	22
5.	RECOMENDACIONES.....	23
6.	LITERATURA CITADA.....	24
7.	ANEXOS.....	25

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

	Página
1 Categorías de uniformidad de distribución.....	9
2 Clasificación de la calidad de fabricación de emisores nuevos.....	10

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1 Filtros de malla del sistema automatizado de riego por goteo en zona III. Zamorano, Honduras. 2006.....	4
2 Inyectores de venturi del sistema automatizado de riego por goteo en zona III. Zamorano, Honduras. 2006.....	5
3 Consola central del sistema automatizado de riego por goteo en zona III. Zamorano, Honduras. 2006.....	5
4 Goteros tipo botón insertados sobre el lateral de riego, espaciados a 80 cm dentro del macrotúnel G en zona III. Zamorano, Honduras. 2006.....	6
5 Recipientes recolectores de agua de riego localizados en macrotúneles B y G en zona III, Zamorano, Honduras. 2006.....	7
6 Uniformidad de distribución (UD) con goteros tipo botón. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.....	12
7 Uniformidad de distribución (UD) con goteros tipo flecha. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.....	13
8 Coeficientes de Uniformidad (CU) con goteros tipo botón. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.....	14
9 Coeficientes de Uniformidad (CU) con goteros tipo flecha. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.....	15
10 Coeficientes de riego (SC) con goteros tipo botón considerando un 5% de valores críticos. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.....	16
11 Coeficientes de riego (SC) con goteros tipo flecha considerando un 5% de valores críticos. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.....	17
12 Coeficiente de variación de fabricación de goteros tipo botón en macrotúneles. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.....	18

13	Coeficiente de variación de fabricación de goteros tipo flecha en macrotúneles. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.....	19
14	Comparación de CE de agua de riego en tres diferentes puntos. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.....	20
15	Comparación de pH de agua de riego en tres diferentes puntos. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.....	21

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Localización de válvulas en Zona III, Zamorano, Honduras. 2006.....	25
2	Ubicación de goteros muestreados en los macrotúneles B y G, zona III, Zamorano, Honduras. 2006.....	26
3	Regulación para buen uso de medidor de conductividad eléctrica.....	27
4	Regulación para buen uso de medidor de pH.....	28

1. INTRODUCCIÓN

Riego es aplicar artificialmente agua al suelo en el momento oportuno, para garantizar cosechas en forma sostenida, continua, intensiva y económica (Álvarez y López 2005). Nuestros recursos hídricos se agotan y deterioran cada vez más debido a un sin número de usos con el paso del tiempo. El campo agrícola no es la excepción; el riego representa gran parte de las operaciones en la producción de cultivos y la maximización de recursos reflejada en productividad representa también una maximización económica.

Por tal motivo el propósito de un sistema de irrigación es aplicar agua uniformemente para lograr cubrir los requerimientos del cultivo. Químicos pueden ser aplicados mediante los sistemas de irrigación para requerimientos de fertilización y para control de malezas y plagas. Todo esto deber ser logrado mientras se minimice mantenimiento y costos (Dukes 2002).

Después de la invención de los plásticos se utilizó este material para la fabricación de un nuevo método de irrigación: el riego por goteo. Este método fue patentizado a final de la década del 50 por parte del israelita Blass. Ya desde ese entonces ha evolucionado utilizando nuevas metodologías e incluso materiales, siempre con el afán de lograr maximizar el uso del agua.

El riego automatizado, regido por una serie de mecanismos que pueden ser operados mecánicamente o de forma manual, representa una excelente alternativa en la actualidad. Aunque los costos iniciales resultan mayores comparados con la instalación de otros métodos de riego, así mismo las ventajas que representa sobre otros sistemas lo hacen ver un sistema muy tentador y beneficioso.

La automatización es parte integral de la operación de los modernos sistemas de riego presurizados, economizando mano de obra y asegurando que los volúmenes deseados, tanto de agua como de fertilizantes, sean aplicados en el momento oportuno (Sapir y Sneh 2005).

Los problemas que se derivan de la mala uniformidad se traducen en un mal reparto de agua y abonos, encontrándonos con plantas encharcadas y otras deficitarias, plantas con exceso de nutrientes con riesgos de fitotoxicidad y/o quemado, derroche de abonos y otras carentes de ellos. Habrá una alteración del desarrollo del cultivo y por tanto la producción (Álvarez y López 2005).

El objetivo principal del estudio fue evaluar el funcionamiento del sistema automatizado de riego por goteo en macrotúneles establecido en zona III y los objetivos específicos fueron determinar las variables uniformidad de distribución, coeficiente de uniformidad, coeficiente de riego y coeficiente de variación de fabricación de los goteros; además evaluar la conductividad eléctrica y pH de la solución de riego.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 UBICACIÓN

El ensayo se realizó en los macrotúneles B y G ubicados en la finca conocida como Zona III, cuya principal actividad está enfocada hacia la horticultura, localizada en Zamorano, Departamento de Francisco Morazán, 30 km al este de Tegucigalpa, Honduras.

2.2 MACROTÚNELES

El macrotúnel B cuenta con unas dimensiones de 9.2 m de ancho y 100 m de largo; mientras que el macrotúnel G posee unas dimensiones de 7.7 m de ancho y 84 m de largo. El modelo de ambos es tipo arco y la orientación es de este a oeste, la estructura es parcialmente metálica con partes de madera recubierto con mallas a los lados y plásticos en la parte superior del mismo, poseen doble puerta y además cuentan con pediluvios previos a la entrada. Cuentan con un sistema de ventilación forzada cuyo fin es reducir la temperatura interna del macrotúnel para optimizar las condiciones de crecimiento del cultivo.

2.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

El sistema de riego cuenta con una serie de instalaciones necesarias que se mencionan a continuación:

2.3.1 Cabezal de riego

Es el conjunto que forman el equipo de filtración y el de fertilización con sus correspondientes válvulas y accesorios. Junto con las tuberías y los goteros forman los elementos fundamentales del sistema.

2.3.2 Equipo de filtración

El agua de riego se obtiene de un reservorio y es bombeada hacia el sistema con ayuda de una bomba centrífuga de 15 caballos de fuerza. Previa entrada al sistema el agua pasa a través de tres filtros de malla de 200 mesh (figura 1), ubicados en el cabezal de riego, cuya función es no permitir el paso de impurezas que provengan del reservorio y que pueden provocar deficiencias eventuales en la distribución del agua.



Figura 1. Filtros de malla del sistema automatizado de riego por goteo en zona III. Zamorano, Honduras. 2006.

2.3.3 Equipo de fertilización

El sistema cuenta con cinco tanques con capacidad de 450 L donde se realizan las mezclas con químicos para aplicación mediante el riego. A la salida de cada tanque existe un filtro de anillos, que consiste en anillos ranurados por ambos lados y superpuestos, conformando un cilindro hueco. Un agitador de aire, está conectado a los tanques de almacenado, cuya función es mezclar los químicos con el fin de evitar la sedimentación o precipitación de los mismos.

Las soluciones de los tanques son inyectadas al riego mediante un juego succionador de venturi (figura 2), el agua circula pasando por un medidor de flujo de agua y luego se distribuye a través de la red de tuberías conectadas a los macrotúneles o en el campo.



Figura 2. Inyectores de venturi del sistema automatizado de riego por goteo en zona III. Zamorano, Honduras. 2006.

Este inyector opera con base en el principio de venturi, o sea que una constricción en el flujo con una entrada específica y un diseño de salida, instalado en la tubería, crea un vacío producto del incremento en la velocidad a través de la constricción (Nathan 2005).

2.3.4 Control del riego

El sistema de riego automatizado por goteo de Zona III cubre 5.2 ha en campo abierto en parcelas de 0.5 ha y 1.2 ha de macrotúneles, y posee la capacidad de irrigar una hectárea a la vez. El sistema es manejado desde una consola central (figura 3) que permite controlar las siguientes operaciones:



Figura 3. Consola central del sistema automatizado de riego por goteo en zona III. Zamorano, Honduras. 2006.

Características del Hardware (fuente Netafim):

- Apertura y cierre automatizado de 24 válvulas (anexo 1) en campo y en los macrotúneles.
- Control y monitoreo del caudal aplicado.

- Automatización del apagado y encendido.
- Capacidad de almacenamiento en memoria de las actividades desarrolladas.
- Inyector tipo venturi
- Tanques de mezcla para químicos y fertilizantes.

Software de riego (fuente Netafim):

- Diez programas de riego por volumen aplicado o por tiempo.
- Control y monitoreo del flujo o caudal.
- Capacidad de controlar cinco inyector de fertilizante y / o ácido.
- Control y monitoreo del fertirriego por cantidad de elementos aplicados, por tiempo, por tasa de aplicación o por conductividad eléctrica y pH.
- Capacidad de registrar un historial de agua y cantidades utilizadas de insumos en la fertirrigación.

2.3.5 Tuberías y goteros

Una tubería principal de cuatro pulgadas parte desde el cabezal de riego y se dirige a lo largo de los macrotúneles y campo. Las tuberías secundarias conectadas a los macrotúneles son de 3/4 de pulgada. Existen cuatro laterales por macrotúnel, cada uno de los cuales va conectado a una tubería secundaria, espaciados a 2.30 m.

Dentro de los macrotúneles se encontraban cuatro hileras dobles de bolsas con el cultivo de tomate. Entre cada doble hilera se encontraba el lateral. Los goteros son tipo botón autocompensados, poseen un caudal nominal de 4.0 L/h y se encuentran insertados sobre el lateral, espaciados cada 80 cm (figura 4).



Figura 4. Goteros tipo botón insertados sobre el lateral de riego, espaciados a 80 cm dentro del macrotúnel G en zona III. Zamorano, Honduras. 2006.

Sobre el gotero tipo botón se colocó un distribuidor o montaje araña con cuatro salidas, a cada una de los cuales se le añade un microtubo y al extremo del mismo se inserta un gotero flecha, el cual se colocó dentro del sustrato que contiene cada bolsa. Este gotero posee un filtro de alta capacidad y un conducto dentado, de flujo turbulento, lo cual asegura su funcionamiento a largo plazo (Sneh 2006).

2.4 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Se registraron 10 eventos de riego, dos por semana, entre los meses de agosto y septiembre del 2006. Cada macrotúnel fue considerado como un bloque de riego.

2.4.1 Distribución de goteros

En el macrotúnel B habían 425 goteros tipo botón y 1700 goteros flecha en total y en el macrotúnel G habían 400 goteros tipo botón y 1600 tipo flecha. La unidad de control la conformó un gotero tipo botón y las subunidades de control fueron cuatro goteros flechas conectadas al extremo de los microtubos que eran abastecidos por un gotero tipo botón. Cada gotero flecha abastecía una bolsa con sustrato. Se muestrearon 20 goteros tipo botón y 80 goteros tipo flecha por cada macrotúnel. La distribución de los goteros tipo botón se muestra en el anexo 2.

2.4.2 Colección de agua

Por cada riego, se registraron 80 volúmenes de agua por macrotúnel. Para recolectar el agua de riego se instalaron recipientes plásticos con capacidad de 2 L. Los recipientes se posicionaron juntos a las bolsas que eran abastecidas de agua por los goteros previamente seleccionados (figura 5). Antes de comenzar el riego, los goteros tipo flecha eran retirados del sustrato y se colocaban dentro de los recipientes recolectores. Al final del evento de riego se procedía a devolver los goteros tipo flecha a sus respectivas bolsas y se procedía con la medición de volúmenes de agua con probetas graduadas, aplicando luego el agua al sustrato de la planta respectiva.



Figura 5. Recipientes recolectores de agua de riego localizados en macrotúneles B y G en zona III, Zamorano, Honduras. 2006.

2.4.3 Medición de la conductividad eléctrica y pH

Se hicieron mezclas compuestas representativas para cada gotero tipo botón, de tal forma que se obtuvieron 20 mediciones de conductividad eléctrica y pH por cada macrotúnel y por evento de riego. Las lecturas de conductividad eléctrica se hicieron con un conductímetro, siguiendo los pasos recomendados para su cuidado y buen funcionamiento (anexo 3). Las mediciones de pH se realizaron con un lector de pH, un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (generalmente de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ión hidrógeno, que al igual que el aparato anterior se debía seguir una serie de cuidados para su buen funcionamiento (anexo 4). El agua recolectada por los recipientes era posteriormente devuelta al medio de donde se había retirado el gotero tipo flecha.

2.5 VARIABLES ANALIZADAS

2.5.1 Uniformidad de Distribución (UD)

Es un término relacionado con la uniformidad de aplicación del agua a las plantas a través de todo un campo. Es un índice de funcionamiento de un sistema de riego (Burt y Styles 2000).

Una uniformidad de uno implica que a cada punto dentro del sector de riego se le aplica el mismo volumen de agua. Si la uniformidad es baja, algunas partes del sector reciben menos agua que otras. A fin de asegurar que en aquellos puntos que reciben menos agua se aplica suficiente como para satisfacer la demanda del cultivo, se ha de aplicar un volumen adicional a todo el sector de riego, lo cual aumenta el consumo de agua y de los gastos de operación (Sneh 2006).

La UD no es un término de eficiencia. Un riego puede ser muy uniforme (tener una alta UD), pero si la duración es excesiva puede presentarse escorrentía superficial y percolación profunda en exceso, con una baja eficiencia de riego (ER) como resultado. Por consiguiente, la evaluación de campo para conocer la UD de un sistema de riego constituye con frecuencia uno de los primeros pasos en el mejoramiento de la eficiencia de riego a nivel predial (Burt y Styles 2000).

La ecuación específica utilizada es:

$$UD = \frac{\text{Lámina promedio de agua en el 25\% menor de población de goteros}}{\text{Lámina promedio de agua acumulada en el total de población de goteros}}$$

Los valores de UD se clasifican de la siguiente forma (cuadro 1).

Cuadro 1. Categorías de uniformidad de distribución.

Clasificación	Uniformidad de distribución (UD)
Excelente	superior a 0.87
Buena	de 0.75 a 0.87
Aceptable	de 0.62 a 0.75
Inaceptable	inferior a 0.62

Fuente: El riego por goteo (Sneh 2006).

2.5.2 Coeficiente de Uniformidad (CU)

Este método fue elaborado por Christiansen, y es una representación estadística que muestra que tan homogénea es la descarga de varios emisores. Para ser aceptable, el CU debe tener un valor de por lo menos 84%. Un CU inferior al 84% no es aceptable ya que representa un gran desperdicio de agua, creando zonas de exceso y deficiencia dentro del área bajo riego (Sapir y Sneh 2005).

$$CU = [1 - (\sum |d| / M \times N)] \times 100$$

Donde: M = valor medio del agua recogida en los recipientes

N = número total de recipientes

$\sum |d|$ = suma de los valores absolutos de las desviaciones de cada recipiente con respecto a la media

2.5.3 Coeficiente de Riego (SC)

El coeficiente de riego, llamado SC por sus siglas en inglés (Scheduling Coefficient), es la relación entre el promedio de lámina de todos los datos y el promedio de datos definidos como críticos. El SC indica la cantidad de riego extra necesitada para irrigar adecuadamente el área crítica (Solomon 1998). El primer paso consiste en definir cuál es el porcentaje de recipientes recolectores que se considera crítico, para este caso se consideró 5% de la población que recibió menos agua. El SC es el factor por el cual se debe multiplicar la lámina de riego planificada a fin de que el área crítica reciba dicha lámina.

Un valor de SC igual a la unidad representa una uniformidad de 100%. Un SC con valor de 1.5 indica que se debe aumentar la lámina en un 50%, para que el área crítica reciba la lámina planificada (Sapir y Sneh 2005).

$$SC = x / L_{pc}$$

De donde:

SC = coeficiente de riego (scheduling coefficient)

x = promedio de todos los datos

L_{pc} = promedio de datos en los recipientes definidos como críticos

2.5.4 Coeficiente de Variación

La descarga de los goteros salidos de fábrica depende de la calidad del proceso de su fabricación, la cual se denomina “variación de fábrica” o “variación de producción”. Ningún producto salido de fábrica es totalmente idéntico a otro y siempre se presentarán diferencias entre los goteros en una muestra (Sneh 2006). La ecuación se define como:

$$CV_f = DT / Q_n$$

En la cual:

CV_f = Coeficiente de variación de la fábrica (fracción decimal)

DT = Desviación Típica de la descarga de los goteros en la muestra

Q_n = Descarga promedio de los goteros de la muestra

El coeficiente de variación de fábrica se clasifica como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de la calidad de fabricación de emisores nuevos.

Clasificación	Coeficiente de variación (CV)
Excelente	inferior a 0.05
Promedio	de 0.05 a 0.10
Marginal	de 0.10 a 0.15
Muy Pobre	superior a 0.15

Fuente: El riego por goteo (Sneh 2006).

2.5.5 Conductividad eléctrica del agua de riego (CE)

Un aspecto de primordial importancia en el agua de riego es el relativo a su calidad. La CE del agua de riego nos da una estimación de problemas potenciales de salinidad en el medio o sustrato. Debido a la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración

de las plantas, gran parte del agua aplicada al medio se pierde, dejando a la mayoría de las sales solubles en el medio. (Maroto, 2000)

2.5.6 pH del agua de riego

EL pH del agua expresa la concentración de iones de hidrógeno (H^+) y la acidez relativa del agua. Valores de pH del agua por encima de 7.8 generalmente indican problemas potenciales con los iones carbonato o bicarbonato formando precipitados dentro de los accesorios del sistema (Nathan 2005).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN (UD)

3.1.1 Goteros tipo botón

Los valores de UD fueron más estables en el macrotúnel B que en el G oscilando de 0.83 a 0.94 (figura 6), con un promedio de 0.90, el cual posee una clasificación de excelente de acuerdo con Sneh (2006); mientras que los valores de UD en el macrotúnel G oscilaron de 0.58 a 0.96 (figura 6), obteniendo un promedio de 0.85 cuyo valor esta en la clasificación de buena de acuerdo con Sneh (2006).

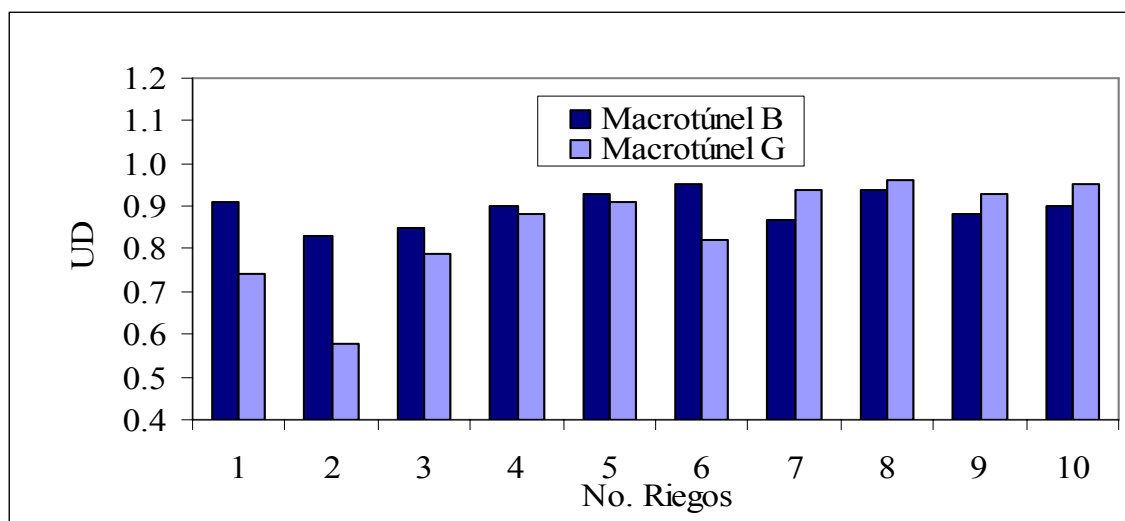


Figura 6. Uniformidad de distribución (UD) con goteros tipo botón. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.

3.1.2 Goteros tipo flecha

Los valores de UD del macrotúnel B oscilaron de 0.61 a 0.81 (figura 7), obteniendo un promedio de 0.75, el cual posee una clasificación de buena de acuerdo con Sneh (2006); mientras que los valores de UD en el macrotúnel G oscilaron entre 0.30 a 0.85 (figura 7), obteniendo un promedio de 0.65 cuyo valor esta en la clasificación de aceptable de acuerdo con Sneh (2006). En el macrotúnel G los tres primeros eventos de riego se encontraron en el rango de inaceptable de acuerdo con Sneh (2006), posiblemente a un mal posicionamiento del gotero tipo flecha dentro del microtubo ó una obturación parcial de los goteros debido a un mal manejo del sistema de filtrado por falta de limpieza o un manejo inadecuado del sistema.

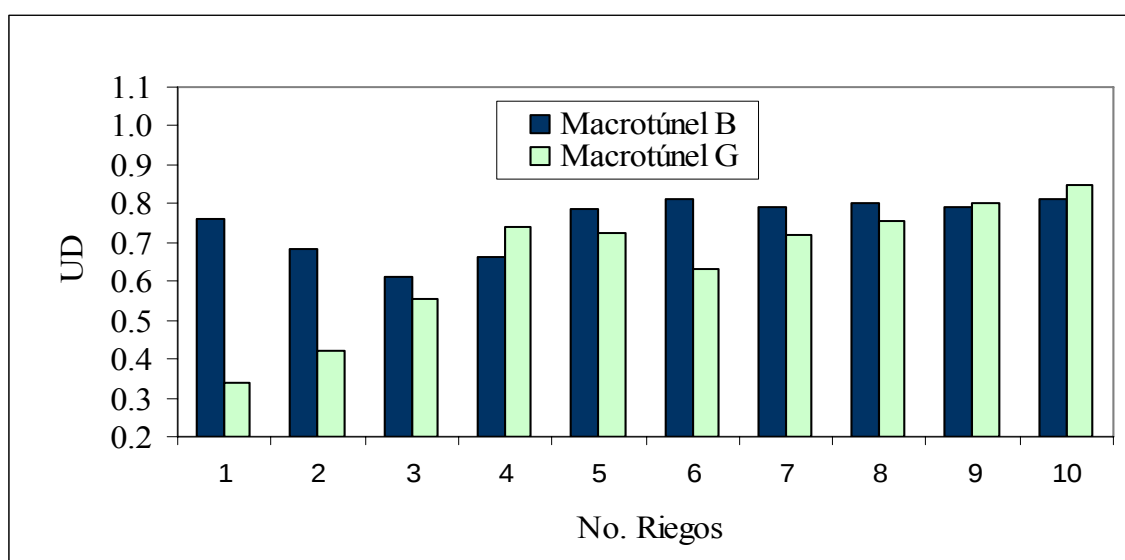


Figura 7. Uniformidad de distribución (UD) con goteros tipo flecha. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.

3.2 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU)

3.2.1 Goteros tipo botón

Los valores de CU del macrotúnel B oscilaron de 86% a 92% (figura 8), obteniendo un promedio de 90%, mientras que los valores de CU del macrotúnel G oscilaron entre 77% a 94% (figura 8), obteniendo un promedio de 87%. Ambos valores se encuentran en el rango de aceptable de acuerdo con Sapir y Sneh (2005). Significa que la mayoría del conjunto de datos se parecen bastante a la media y además que la descarga fue homogénea. En los primeros eventos de riego el CU fue bajo posiblemente a un manejo inadecuado en los tanques de mezcla de fertilizante donde pudo existir una mala agitación, lo que ocasionó una sedimentación en los tanques y provocó en cierto momento que la solución inyectada llevó dichos sedimentos que pudieron provocar taponamientos de los goteros

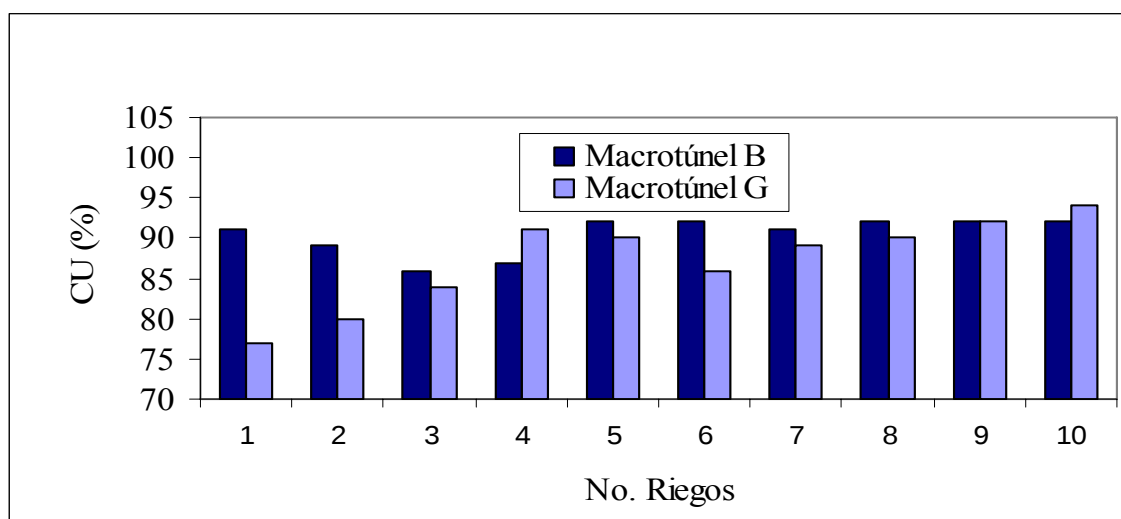


Figura 8. Coeficientes de Uniformidad (CU) con goteros tipo botón. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.

3.2.2 Goteros tipo flecha

Los valores de CU del macrotúnel B oscilaron de 80% a 89% (figura 9), obteniendo un promedio de 86%, cuyo valor es catalogado aceptable de acuerdo con Sapir y Sneh (2005); mientras que los valores de CU del macrotúnel G oscilaron entre 67% a 92% (figura 9), obteniendo un promedio de 82%, que se encuentra en el rango de no aceptable de acuerdo con Sapir y Sneh (2005). En el macrotúnel G la descarga por parte de los goteros no fue tan homogénea y por tal razón un grupo del conjunto de datos no se parece a la media, esto se debe a que en los tres primeros eventos de riego el CU es bajo probablemente a que los goteros no se encontraban bien posicionados dentro del microtubo o se encontraban parcialmente obstruidos debido a un manejo inadecuado del sistema de filtrado.

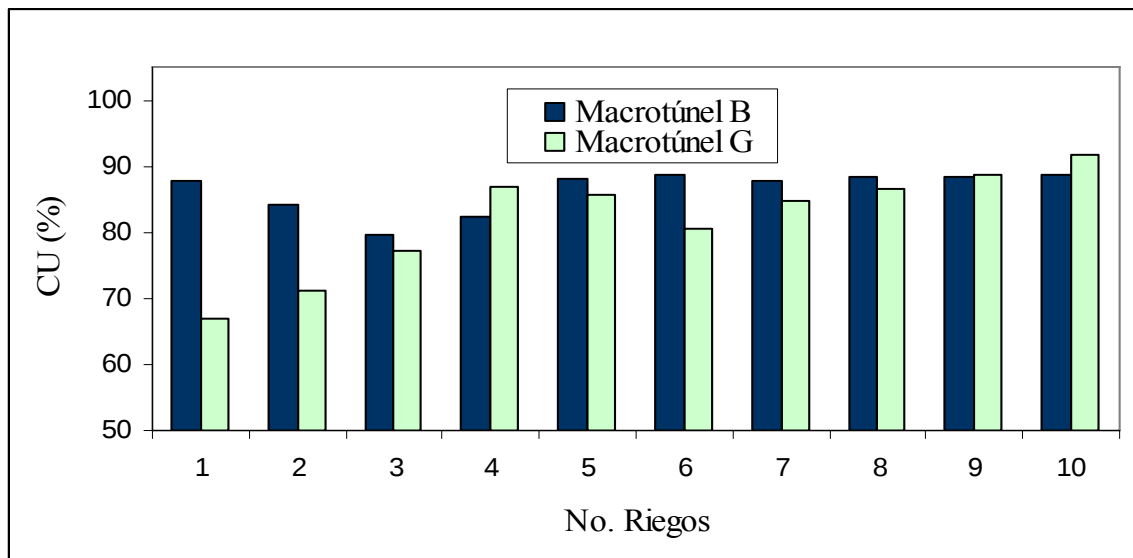


Figura 9. Coeficientes de Uniformidad (CU) con goteros tipo flecha. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.

3.3 COEFICIENTE DE RIEGO (SC)

3.3.1 Goteros tipo botón

Los valores de SC en el macrotúnel B oscilaron de 1.18 a 1.53 (figura 10), obteniendo un promedio de 1.29; es decir que se debe aumentar la lámina en un 29%, para que las bolsas con cultivo que poseen valores críticos reciban la lámina planificada. Mientras que los valores de SC en el macrotúnel G oscilaron de 1.11 a 3.29 (figura 10), obteniendo un promedio de 1.59; lo que significa que se debe aumentar la lámina en un 59% para que las bolsas con cultivo con valores críticos reciban la lámina planificada. Los altos valores de SC posiblemente se debieron a una obstrucción parcial de los goteros tipo flecha o un mal posicionamiento de los goteros dentro del microtubo, dando como resultado un flujo de agua debajo de lo esperado. En algunos casos probablemente será mejor mantenerse con esas zonas críticas, puesto que si se aumenta la lámina se puede provocar una escorrentía superficial o una percolación más rápida, y como consecuencia mayores gastos y pérdidas.

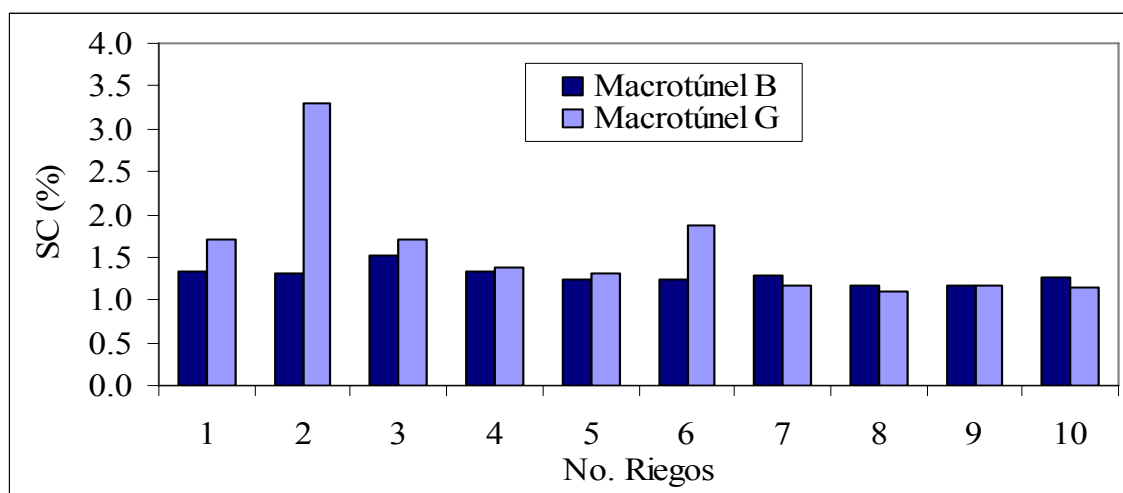


Figura 10. Coeficientes de riego (SC) con goteros tipo botón considerando un 5% de valores críticos. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.

3.3.2 Goteros tipo flecha

Los valores de SC en el macrotúnel B oscilaron de 1.45 a 13.62 y los valores de SC en el macrotúnel G oscilaron de 1.4 a 29 (figura 11). Además se observó que en ciertos eventos de riego no figura ningún valor de SC, esto se debe a que en el 5% del área crítica no cayó agua, posiblemente a un taponamiento total de los goteros tipo flecha debido a una falta de limpieza del sistema de filtrado que permitió el paso de sedimentos. En otros eventos de riego se nota un SC muy alto, posiblemente esto se debe a una obstrucción parcial de los goteros tipo flecha o un mal posicionamiento de los goteros dentro del microtubo, dando como resultado un flujo de agua debajo de lo esperado. En algunos casos probablemente será mejor mantenerse con esas zonas críticas, puesto que si se aumenta la lámina se puede provocar una escorrentía superficial o una percolación más rápida, y como consecuencia mayores gastos y pérdidas.

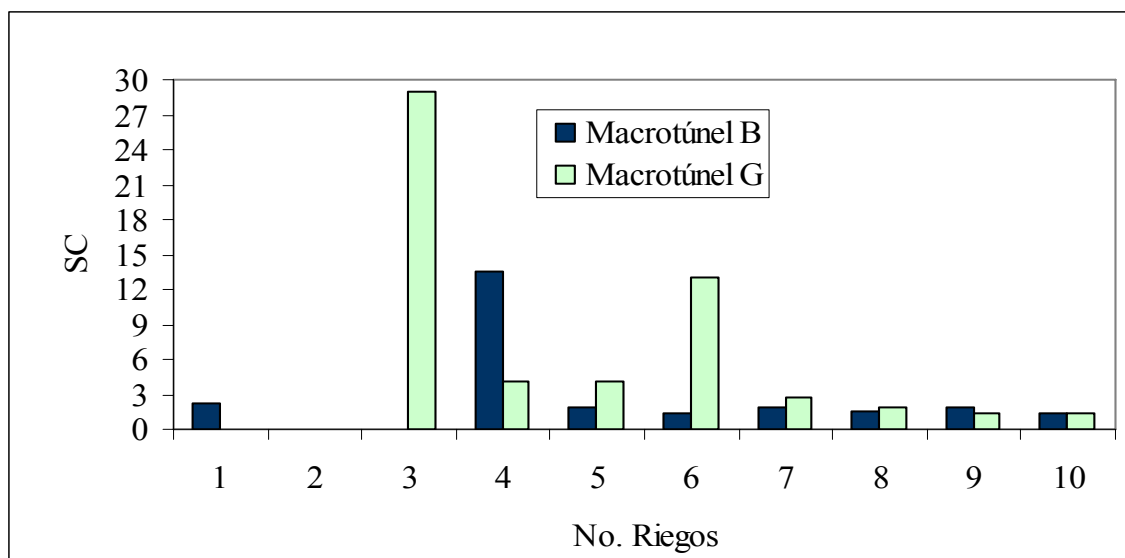


Figura 11. Coeficientes de riego (SC) con goteros tipo flecha considerando un 5% de valores críticos. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.

3.4 COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)

3.4.1 Goteros tipo botón

Se obtuvo un valor promedio de 0.02 de los 10 eventos de riego analizados (figura 12) que de acuerdo con Sneh (2006) posee un coeficiente de fabricación de excelente.

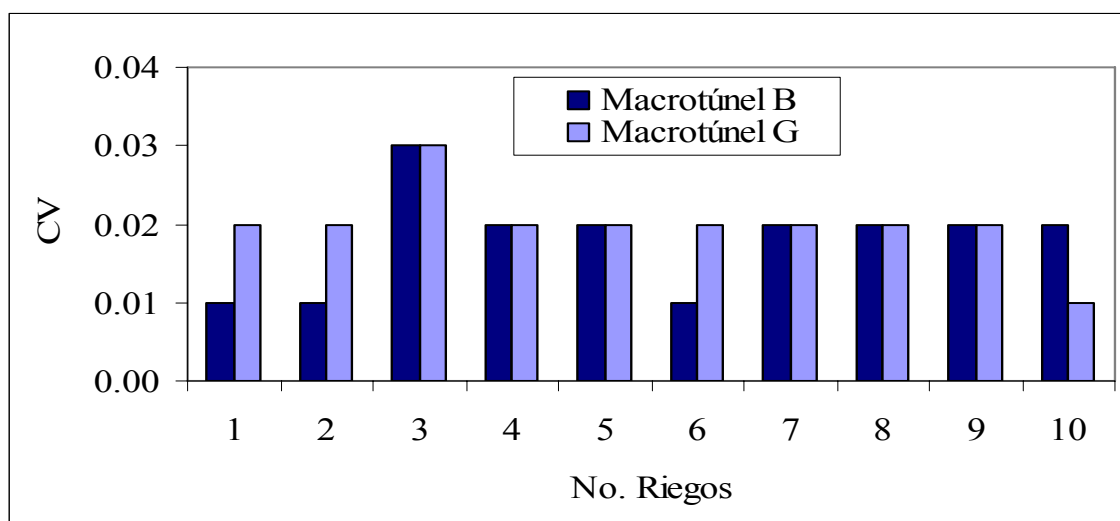


Figura 12. Coeficiente de variación de fabricación de goteros tipo botón en macrotúneles. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.

3.4.2 Goteros tipo flecha

Se obtuvo un valor promedio de 0.08 de los 10 eventos de riego (figura 13) que de acuerdo con Sneh (2006) posee un coeficiente de fabricación de bueno.

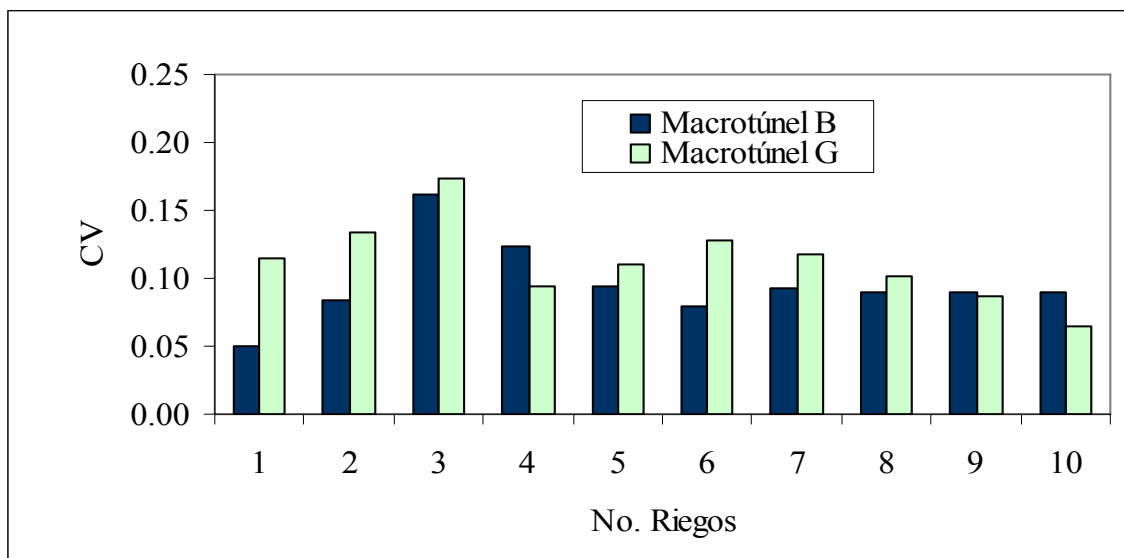


Figura 13. Coeficiente de variación de fabricación de goteros tipo flecha en macrotúneles. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.

3.5 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA DE RIEGO (CE)

Los datos de CE obtenidos por el sensor ubicados en el cabezal de riego oscilaron entre 1,9 a 2.5 mS/cm; mientras que los valores de CE en el macrotúnel B estuvieron entre 0.39 a 2.55 mS/cm y los del macrotúnel G oscilaron entre 0.4 a 2.65mS/cm (figura 14). Los valores de CE arrojados por el sensor ubicado en el cabezal de riego difirieron alrededor de un 38% en promedio comparado con los datos del macrotúnel B; mientras que sólo lo hicieron en un 24% en promedio con los datos del macrotúnel G. Los datos del macrotúnel G fueron mayores en un 18% en promedio que los del B.

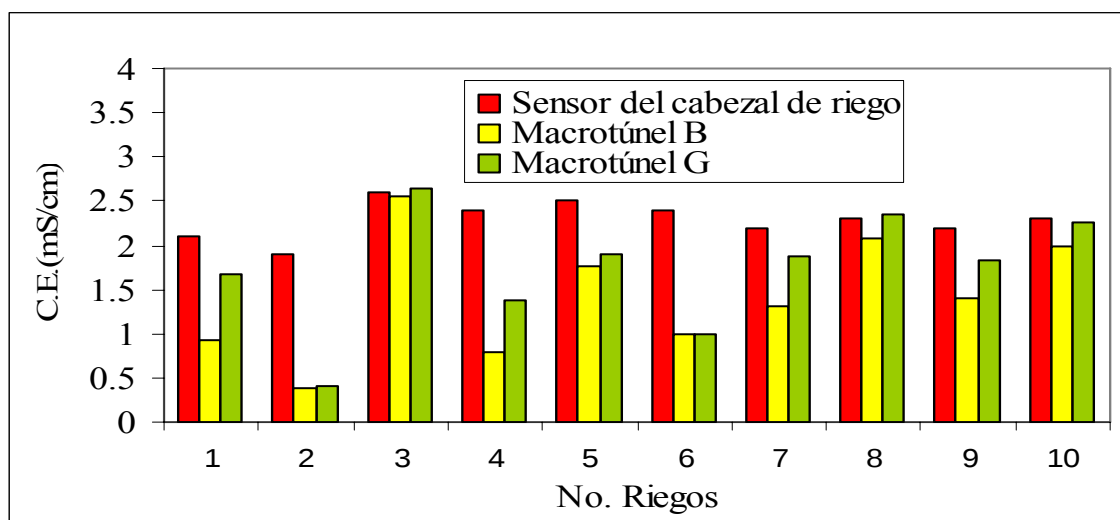


Figura 14. Comparación de CE de agua de riego en tres diferentes puntos. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.

Esta mala distribución de conductividad eléctrica en algunos eventos de riego, posiblemente se debe a que existe una sola tubería principal tanto para campo como para macrotúneles y de una u otra forma la solución de riego se puede dirigir hacia una zona no especificada en dicho momento para irrigar. En el diseño inicial de la instalación se recomendaron dos tuberías principales, una para campo y otra para macrotúneles, pero debido a falta de presupuesto en ese momento no se pudo realizar dicha labor. También se puede deber a que los sensores del cabezal no se calibraron al mismo tiempo que los medidores de campo.

3.6 pH DEL AGUA DE RIEGO

Los datos de pH obtenidos por el sensor ubicado en el cabezal de riego oscilaron entre 5.6 a 6.7; mientras que los valores de pH en el macrotúnel B estaban entre 6.0 a 7.0 y los del macrotúnel G oscilaron entre 6.0 a 7.3 (figura 15). El rango en que se encontró la solución no afecta la disponibilidad de nutrientes.

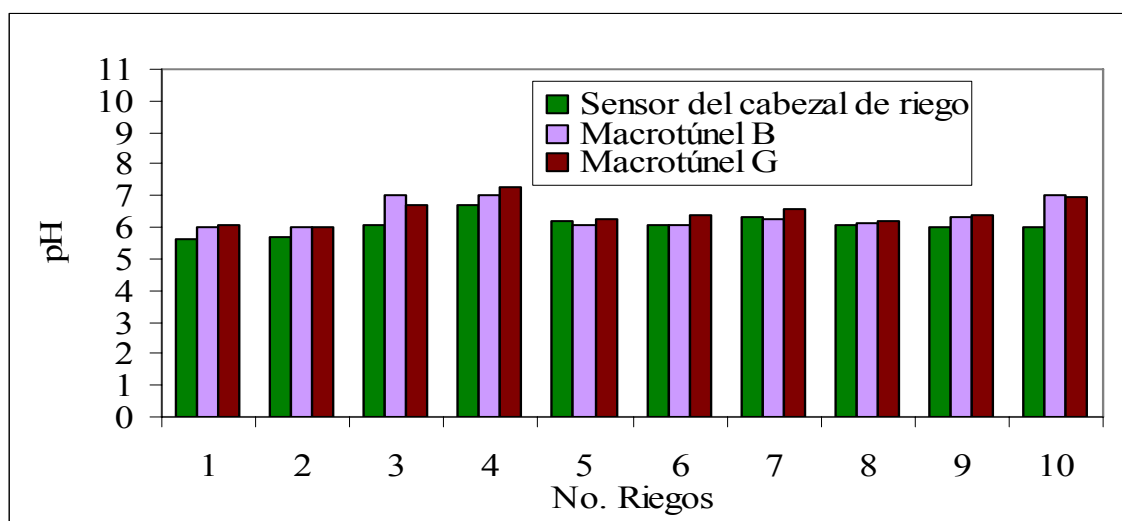


Figura 15. Comparación de pH de agua de riego en tres diferentes puntos. Zona III. Zamorano, Honduras. 2006.

4. CONCLUSIONES

El manejo influye directamente sobre el funcionamiento del sistema de riego.

El coeficiente de uniformidad, la uniformidad de distribución y el coeficiente de riego determinaron que el sistema de riego por goteo funciona adecuadamente dentro de los rangos permisibles.

El macrotúnel B tuvo un mejor desempeño de acuerdo con las variables de uniformidad analizadas

La variación de pH y conductividad eléctrica indica que existe menor eficiencia en la fertilización en el invernadero B.

Los gotero tipo botón tienen mejor desempeño que los tipo flecha.

5. RECOMENDACIONES

Controlar, mediante mediciones y monitoreos, la uniformidad de riego una o dos veces al año, principalmente antes de la época de mayor intensidad de riego.

Determinar tamaño de sector adecuado que pueda cubrir una tubería principal e independizarlas por sector.

Realizar un mantenimiento y calibración de los sensores de conductividad eléctrica y pH ubicados en el cabezal de riego de acuerdo con las recomendaciones de manejo del equipo.

Llevar registros diarios de los riegos realizados para poder identificar problemas y corregirlos a tiempo.

Vigilar el correcto funcionamiento de los goteros tipo botón y flecha, se debe asegurar que los goteros flecha estén correctamente posicionados en el microtubo para que no influyan en el rendimiento de los otros goteros.

Realizar limpieza de filtros al inicio del día durante todos los días que se utilice el sistema.

Realizar limpieza de tuberías y laterales, con ayuda de químicos para evitar taponamientos y disminución de caudales, cada tres días de riego.

Evitar precipitados químicos en los tanques de mezcla.

Determinar eficiencia de riego para calibrar frecuencias de riego.

6. LITERATURA CITADA

Álvarez, F. I.; López, L. F. 2005. Manual de riego e hidrometría. Zamorano, Honduras. 69 p.

Burt, C. M.; Styles, S.W. 2000. Riego por goteo y microaspersión para árboles, vides y cultivos anuales. Trad. JA Forero. California, US. Central Coast Printing. 334 p.

Dukes, M.D. 2002. Drip irrigation design and troubleshooting (diapositivas). (University of Florida, US). Gainesville, USA. 33 diapositivas

Maroto, J.V. 2000. Elementos de Horticultura General. 2 ed. Madrid, España. Mundi-Prensa. 424 p.

Nathan, R. 2005. La fertilización combinada con el riego. Israel. 78p.

Netafim, 2006. Productos de Netafim (en línea). Consultado 14 oct. 2006. Disponible en: <http://www.netafim.com.ar/1>

Sapir-, E.; Sneh M. 2005. Riego por aspersión. 2ed. Israel. 121p.

Sneh, M. 2006. El riego por goteo. Israel. s.p.

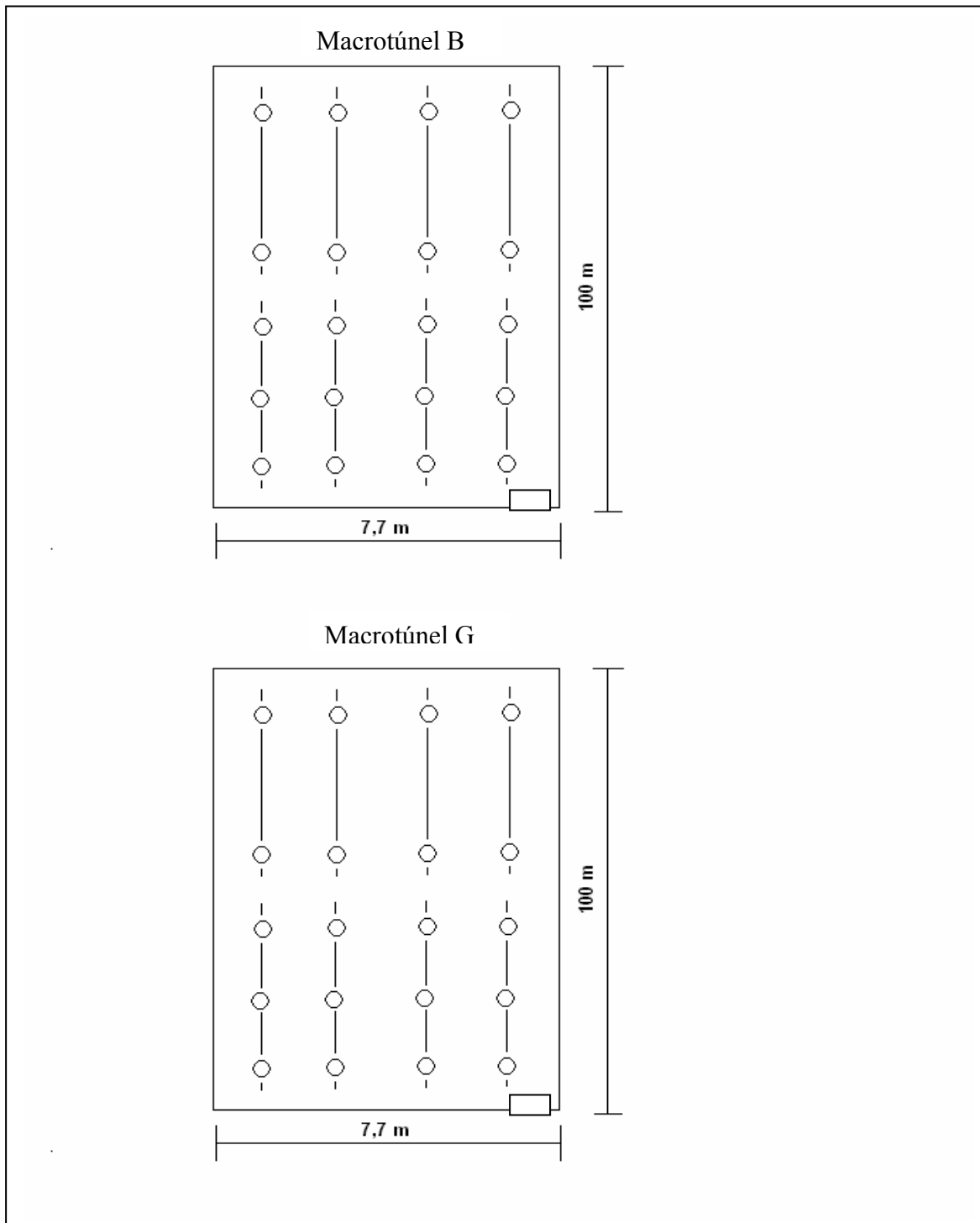
Solomon, K. 1988. A new way to view sprinkler patterns (en línea). California, US. Consultado 14 de oct. 2006. Disponible en: <http://www.wateright.org/site2/publications/880802.asp>

7. ANEXOS

Anexo 1. Localización de válvulas en Zona III, Zamorano, Honduras. 2006.

Válvulas	Macrotúnel	Lote	Puntos cardinales
1		29 (Primera Parte)	Este
2		28 (Primera Parte)	Este
3		29 (Segunda Parte)	Oeste
4		28 (Segunda Parte)	Oeste
5		31 (Primera Parte)	Este
6		30 (Primera Parte)	Este
7		31 (Segunda Parte)	Oeste
8		30 (Segunda Parte)	Oeste
9		35 (Primera Parte)	Sur
10		35 (Segunda Parte)	Norte
11	D		
12	E		
13	F		
14	G		
15	H		
16	I		
17	J		
18	K		
19	L		
20	M		
21	A		
22	B		
23	C		
24		Pinos	

Anexo 2. Ubicación de goteros muestreados en los macrotúneles B y G, zona III, Zamorano, Honduras. 2006.



- = Gotero tipo botón insertado sobre el lateral que se muestreó.
 — = Lateral de riego
 □ = Entrada principal al macrotúnel

Anexo 3. Regulación para buen uso de medidor de conductividad eléctrica.

Funcionamiento

- Quite la tapa de protección.
- Presione ON/OFF para encender el aparato.
- Introduzca el aparato en la solución de prueba.
- Espere unos segundos para la lectura estabilizada; el medidor compensará automáticamente para las variaciones de temperatura.
- Presione ON/OFF para apagar el aparato.

Calibración

- Encienda la unidad apretando el botón ON/OFF.
- Introduzca el aparato en la solución tampón 1413 uS/cm.
- Permita que se estabilice la lectura; usando el destornillador proporcionado, haga coincidir el valor de la solución. Para calibrar el C62 con la solución tampón 1413 uS/cm se vuelve ajusta hasta que el despliegue lea 1.41 mS/cm.
- La calibración está ahora completa.

Mantenimiento

Si la lectura se vuelve inestable, limpia las sondas de acero inoxidable enjuagándola en alcohol durante diez minutos. Reemplacé las baterías si el despliegue de lectura empieza a desaparecer.

Especificaciones

Rango: 0.00 – 19.99 mS/cm

Resolución: 0.01 mS/cm

Exactitud: +/- 2%

Temperatura de conservación: 5 a 50°C.

Anexo 4. Regulación para buen uso de medidor de pH.

Acondicionamiento

Quite la tapa. Para activar el electrodo introduzca el aparato en pH 7 solución tampón durante 2 horas. Los problemas con la cristalización se han eliminado.

Calibración

Encienda la unidad apretando el botón de ON/OFF. Pueden calibrarse los verificadores del pH a valores de 4, 7 y 10; siempre calibre el primero a pH 7. Introduzca el verificador en el pH 7.01 solución tampón. Apriete el botón de "CAL." El despliegue pestañeará "7.0 c"; cuando el "c" detiene el parpadeo presione "CFM" para confirmar. El despliegue pestañeará 4.0 entonces se puede usar una segunda solución tampón. Si usted está realizando una sola calibración a un punto, apaga el aparato. Si usted está midiendo el pH de soluciones ácidas, use un pH 4.01 solución tampón; para las medidas alcalinas use un pH 10.01 solución tampón. Enjuague el electrodo con el agua ionizada antes de calibrar al segundo punto. Siempre use soluciones tampones nuevas para la calibración.

Funcionamiento

- Quite la tapa.
- Presione ON/OFF para prender el aparato.
- Introduzca el aparato en la solución de prueba.
- Agite y espere por la lectura hasta que se estabilice.
- Presione ON/OFF para apagar el aparato.

Mantenimiento

El sensor debe guardarse en húmedo en todo momento. Esto se puede lograr guardando el aparato con unas gotas de la solución de calibración pH 7 o pH 4 en la tapa de protección. Enjuague el electrodo después de cada medida con el agua del grifo. No use agua destilada o agua ionizada para los propósitos del almacenamiento.

Especificaciones

Rango: 0.0 a 14.0

Resolución: 0.1 pH

Exactitud: + / - 0.2 pH

Temperatura de conservación: 0 a 50°C