

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA

Evaluación de la uniformidad de un sistema de riego por goteo de baja presión.

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por

Grace Magdalena Williams Chavarría

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2011

RESUMEN

Williams Chavarría G. M, 2011. Evaluación de la uniformidad de un sistema de riego por goteo de baja presión. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 22 p.

El riego por goteo consiste en la aplicación directa de agua en las raíces de la planta, lo que permite un uso eficiente del recurso. International Development Enterprises (iDE) es una organización sin fines de lucro que promueve y distribuye sistemas de riego de baja presión y bajo costo para pequeños productores. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la carga y la pendiente en dos sistemas de riego, 20×20 m y 4×5 m, a través de la estimación de la uniformidad en la distribución del agua. Se calcularon los Coeficientes de Uniformidad (CU), Uniformidad de la Distribución (DU), Variación en la Fabricación (CV_f) y Uniformidad de la Emisión (EU). Se compararon dichos valores con los reportados para sistemas de riego por goteo convencionales. Para el sistema de 20×20 m se analizaron dos pendientes a favor, paralelas al lateral de riego (Oeste - Este), de 1 y 3%; una pendiente perpendicular al lateral de riego (Norte - Sur) de 1% y tres cargas de 1.89, 1.61 y 1.36 m; se realizaron tres repeticiones en espacio. En el sistema de 4×5 m se analizó el efecto de una pendiente de cero y dos cargas, 1.33 y 1.26 m; se hicieron cinco repeticiones. Para el sistema de 20×20 m se utilizó un diseño factorial $2 \times 2 \times 3$ (pendiente de 1 y 3%; pendiente Oeste - Este y Norte - Sur; cargas de 1.89 m, 1.61 m y 1.36 m). Se utilizó un análisis de varianza para identificar diferencias entre los valores obtenidos. Para el sistema de 4×5 m se usó un Diseño Completamente al Azar y se hizo una separación de medias utilizando el método Tukey. En el sistema de 20×20 m, para pendientes de 1 y 3%, se encontró diferencia significativa para EU y DU en cuanto a carga de agua, obteniendo mayores valores con cargas arriba de 1.61 m (aproximadamente 59 y 70%, respectivamente). Sin embargo, estos valores son inferiores a los recomendados por la literatura (80 y 79%, respectivamente). Un cambio en la pendiente de 1 a 3% causa una diferencia en el valor de DU, siendo mayor (71%) para pendientes de 1%. La pendiente Norte - Sur tuvo un efecto en el DU y CU, obteniendo valores mayores (79 y 79%, respectivamente), en el bloque Sur (más bajo). La pendiente Oeste - Este tuvo un efecto en el EU, DU y CU, siendo mayores (62, 72 y 74%, respectivamente) para el tramo de 10 a 20 m. Para el sistema de 4×5 m se encontró diferencia significativa en el efecto de la pendiente Oeste - Este en la descarga de los emisores, siendo mayor en el tramo de 0 a 2.5 m.

Palabras clave: Carga, parámetros de uniformidad, pendiente.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
4. CONCLUSIONES.....	16
5. RECOMENDACIONES.....	17
6. LITERATURA CITADA	18
7. ANEXOS	19

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros

Página

1. Valores recomendados de los parámetros de uniformidad de distribución.....	2
2. Efecto de la carga y pendiente para los parámetros de uniformidad en terrenos con pendiente de 1 y 3% para sistemas de 20 × 20 m.....	11
3. Efecto de la carga y la pendiente para los parámetros de uniformidad en el sistema de 20 × 20 m en terreno con pendiente de 1%	12
4. Efecto de la carga y la pendiente para los parámetros de uniformidad en el sistema de 20 × 20 m en terreno con pendiente de 3%	13
5. Efecto de la carga y la pendiente sobre la descarga del sistema de riego por goteo de 4 × 5 m.....	15

Figuras

Página

1. Sistema iDE de 4 × 5 m o Family Nutrition Kit	5
2. Sistema iDE de 20 × 20 m	6
3. Regresión lineal para descarga de emisores en terreno con pendiente de 1 y 3% para el sistema de 20 × 20 m	14

Anexos

Página

1. Componentes del sistema de riego de iDE de 20 × 20 m.....	19
2. Esquema del sistema de iDE de 4 × 5 m o Family Nutrition Kit.....	20
3. Fotografía del Family Nutrition Kit	20
4. Microtubos de 25 cm de longitud de ambos sistemas	21
5. Fotografía del sistema de iDE de 20 × 20 m	21
6. Método de aforo de los emisores en ambos sistemas	22

1. INTRODUCCIÓN

El riego se ha practicado por más de 5,000 años y fue esencial para el desarrollo de algunas civilizaciones agrícolas, implementándose mediante gravedad, elevadores de agua accionados por seres humanos, animales o mediante flujo de agua. Las prácticas actuales incluyen una variedad de métodos de riego superficial como sistemas de aspersión, nebulizadores y goteo (Hargreaves y Merkley 2000).

El agua es el principal alimento que toma la planta del suelo por lo que, desde siempre, el agricultor ha procurado proporcionarla en la cantidad y frecuencia que ha considerado mejor (Burtz y Styles, 2000).

Los sistemas de riego cumplen con una función única, que es el suministro adicional de agua al perfil del suelo, en forma artificial, para su utilización por los cultivos, en el momento oportuno y en las cantidades necesarias para su crecimiento (Burtz y Styles 2000).

En el sistema de riego por goteo el agua se aplica donde se encuentran las raíces activas de las plantas, por esto también recibe el nombre de riego localizado; este consiste en una tubería perforada con emisores que emiten la descarga de agua localizada al área a regar (Hargreaves y Merkley 2000).

El riego por goteo tiene ventajas como aplicaciones más frecuentes y eficientes, esto permite que el contenido de humedad del suelo siempre este cercano a la capacidad de campo. Otra ventaja es la aplicación de fertilizantes y agroquímicos disueltos en el agua de riego (Hargreaves y Merkley 2000).

El sistema tiene desventajas como el alto costo de inversión inicial comparado a otros métodos de riego, debido a que el sistema por goteo se establece en un terreno determinado. Además, requiere de mantenimiento y de agua de buena calidad para evitar el taponamiento de los emisores; esto incrementa el trabajo en limpieza y mantenimiento del sistema. Otra desventaja es el material de fabricación de los laterales de riego que puede dañarse con facilidad en labores de mantenimiento de terreno o del cultivo (Palada *et al.* 2011).

Existe una serie de tecnologías de aplicación y conservación de los recursos y mejores prácticas de producción que ofrecen mejorar la productividad y los beneficios para la agricultura de pequeños productores. Entre ellas se encuentran, por ejemplo, mejores sistemas de suministro y control del agua, sistemas de riego en pequeña escala,

tecnologías adaptadas para la elevación de aguas y tecnologías de conservación del agua en las explotaciones tales como el cultivo sin laboreo, la captación de aguas o la agricultura dependiente de la escorrentía superficial (FAO 2005).

La aparición de nuevas tecnologías de riego ha sido importante para el desarrollo de fincas agrícolas, dispuestas a invertir para aumentar su rendimiento. Sin embargo, los pequeños y medianos productores no tienen la capacidad económica para arriesgarse en altas inversiones. Por ello han surgido sistemas de riego de bajo costo y baja presión, a precios adquiribles para el área rural (Palada *et al.* 2011). La inversión en sistemas de riego, ya sea baja o alta, debe ser respaldada por la eficiencia del sistema, para asegurar la rentabilidad en rendimientos de producción.

Los buenos procedimientos de diseño y manejo requieren el entendimiento de conceptos como eficiencia y uniformidad de distribución. Conocer los datos de uniformidad en un sistema permite cuantificar las diferencias en la cantidad de agua recibida por el cultivo. El concepto de uniformidad de un sistema no difiere en relación al tipo de sistema de riego, pero sí la distribución espacial de la desuniformidad entre varios métodos de riego (Burtz y Styles 2000).

La uniformidad de distribución de láminas de agua en riego por goteo es importante porque influyen en la eficiencia del uso de energía y aplicación de fertilizantes para alcanzar el máximo rendimiento del cultivo y aumentar la eficiencia del sistema de riego (Vargas 2008). Esta uniformidad puede ser afectada por diversos factores como: diferencias de presión a lo largo de la manguera, diferencias de presión entre las mangueras, obstrucción en los emisores, variación en fabricación, diferencias en el suelo (pendiente, emisores enterrados) y desgastes en el sistema, ya sea en los emisores o en las mangueras (Burtz y Styles 2000).

Para que un sistema de riego sea uniforme en la distribución de agua, debe de estar dentro de ciertos rangos en cuanto a los coeficientes de uniformidad, según Tarjuelo (1990) se recomiendan los siguientes rangos:

Cuadro 1. Valores recomendados para los parámetros de uniformidad de distribución.

Parámetro	Valor (%)
Coefficiente de uniformidad (CU)	>88
Uniformidad de la distribución (DU)	>79
Coefficiente de variación en la fabricación (CV_f)	<5
Uniformidad en la emisión (EU)	>80

Estudios realizados por Thompson en el 2009, utilizando un sistema desarrollado por iDE con emisores de microtubos, mostraron resultados en el coeficiente de variación en la fabricación de 6%.

International Development Enterprises (iDE) es una organización sin fines de lucro que promueve y distribuye sistemas de riego de baja presión y de bajo costo, para aquellos agricultores sin el capital suficiente para la adquisición de sistemas de riego convencionales. Estos productores están limitados a la producción de cultivos en la época seca por no contar con acceso a riego. La idea nace en la India donde la mayoría de las labores de campo a pequeña escala están lideradas por mujeres, iDE se enfoca en facilitar el trabajo de riego para ellas, a manera de reducir los problemas laborales y aumentando la producción a lo largo del año.

Los sistemas de riego utilizados en el estudio fueron sistemas de 20×20 m y 4×5 m, promovidos y distribuidos por iDE, dimensiones que concuerdan con el enfoque a pequeños productores que usan parcelas para producción de subsistencia.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la carga y la pendiente en dos sistemas de riego, 20×20 m y 4×5 m, a través de la estimación de la uniformidad en la distribución del agua.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Centro de Adaptación de Tecnología de Riego, en la Escuela Agrícola Panamericana en el valle del río Yeguaré, a 30 km de Tegucigalpa, Honduras. El sitio está a 800 msnm, tiene una temperatura anual promedio de 24 °C y una precipitación media anual de 1095.8 mm, distribuida en los meses de mayo a noviembre.

Los sistemas evaluados fueron un sistema de riego de 20 × 20 m y un sistemas de 4 × 5 m, éste último conocido y comercializado en Asia como Family Nutrition Kit (FNK) los que constan de los siguientes componentes:

Sistema iDE 20 × 20 m (anexo 1):

- Reservorio con capacidad de 2500 L (no incluido en el Kit)
- 30 m de tubería de principal de polietileno, de 32 mm de diámetro
- Filtro de malla, 60 mesh
- 20 m de tubería secundaria de 32 mm de diámetro
- 20 laterales de riego de polietileno, de 20 m de longitud cada uno, con un diámetro de 16 mm y 200 micrones de espesor de pared.
- 20 conectores tipo válvula, uno por lateral de riego.
- 677 microtubos de 25 cm de longitud y 1.2 mm de diámetro, espaciados a 0.6 m, 33 microtubos por lateral.

Sistema iDE 4 × 5 m o FNK (anexo 2):

- Reservorio o bolsa con capacidad de 22.7 L.
- Un metro de tubería de succión, de polietileno, de 12 mm de diámetro.
- Bomba manual de cebado.
- Filtro de malla, 40 mesh.
- Cuatro metros de tubería secundaria, de polietileno, de 16 mm de diámetro y 125 micrones de grosor de pared.
- Cuatro laterales de riego, de polietileno, de 5 m cada uno, de 16 mm de diámetro y 125 micrones de grosor de pared.
- Cuatro conectores iniciales
- 40 Microtubos de 25 cm de longitud y 1.2 mm de diámetro, espaciados a 0.5 m, diez por lateral.

Preparación del terreno. Sistema de iDE de 20 × 20 m: El terreno se preparó con un pase de rastra pesada y liviana, se usó un surcador con un distanciamiento entre surco de

1.0 m, luego se acamó manualmente. El terreno tenía una pendiente natural con dirección Oeste- Este de 3% y de Norte- Sur de 1%. Se realizó una toma de datos con pendiente de 3%. Para la segunda toma de datos se modificó manualmente la pendiente Oeste- Este para que ésta quedara a 1%. La pendiente con dirección de Norte- Sur fue constante en la toma de datos.

Sistema iDE de 4×5 m o Family Nutrition Kit (FNK): El terreno utilizado no tenía pendiente, se preparó manualmente para que este quedar a nivel.

Instalación del sistema. Sistema 20×20 m: Se utilizó un tanque con capacidad de 2500 L como reservorio de agua para abastecer el sistema. Se usó una tubería principal de PVC de 32 mm de diámetro de 30 m de largo y los siguientes accesorios:

- Una válvula de bola de una pulgada para el control del flujo de agua
- Seis codos para desviar la dirección de la tubería principal.
- Un filtro de malla de 60 mesh.
- Dos adaptadores hembra PVC para acoplar la tubería principal al filtro y válvula de sistema.

Sistema de 4×5 m: Se instaló el sistema con cada uno de sus componentes (Figura 1).

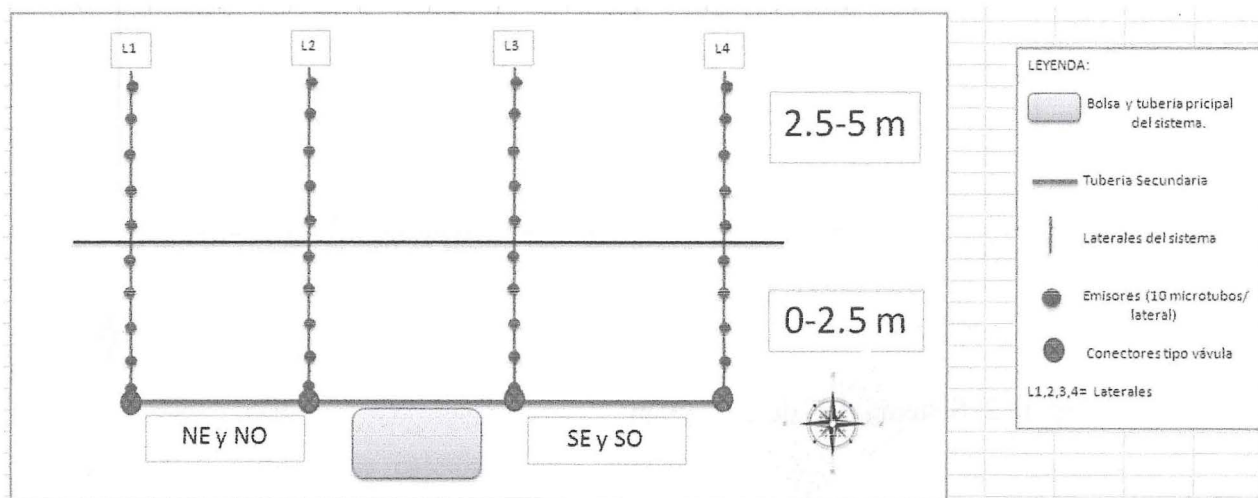


Figura 1. Sistema iDE de 4×5 m o Family Nutrition Kit

Operación de los sistemas. Sistema de 20×20 m: Se abrió la válvula principal ubicada a la salida del tanque de 2500 L. El agua pasó por la tubería principal de PVC hasta llegar al filtro de malla del sistema, éste se limpio antes de cada repetición. Luego pasó a la tubería secundaria y laterales del sistema. Se trabajo con los conectores de válvula completamente abiertos.

Sistema de 4×5 m: Se cerró la válvula principal y con la bomba manual de cebado se creó un vacío para la succión del agua de la bolsa o reservorio, al llenarse la tubería

principal de agua se abrió la válvula para que fluyera por el sistema. Se reguló la válvula de modo que la descarga del emisor fuera un goteo continuo.

Toma de datos. Sistema de 20×20 m: Se tomaron datos en 10 de los 20 laterales del sistema, se muestrearon ocho emisores por lateral de riego, los emisores medidos se encontraron siempre a una misma distancia 2.1, 2.7, 6.9, 7.5, 11.7, 12.3, 16.5 y 17.1 m a lo largo del lateral. Se dividió el terreno en cuatro cuadrantes, cuadrante NO, NE, SO y SE (Figura 2).

Se aforaron los emisores por el método directo, que consiste en tomar el volumen de descarga (mL) en un tiempo determinado ($q=v/t$). El reservorio de agua fue llenado siempre a una altura de 2.30 m sobre el nivel del suelo. Se tomaron datos al minuto 20 después de iniciarse el riego, luego al minuto 40 y al minuto 60 con el fin de determinar el efecto de la altura del espejo de agua en la descarga de los emisores. Se hicieron tres repeticiones en tiempo siguiendo el mismo procedimiento.

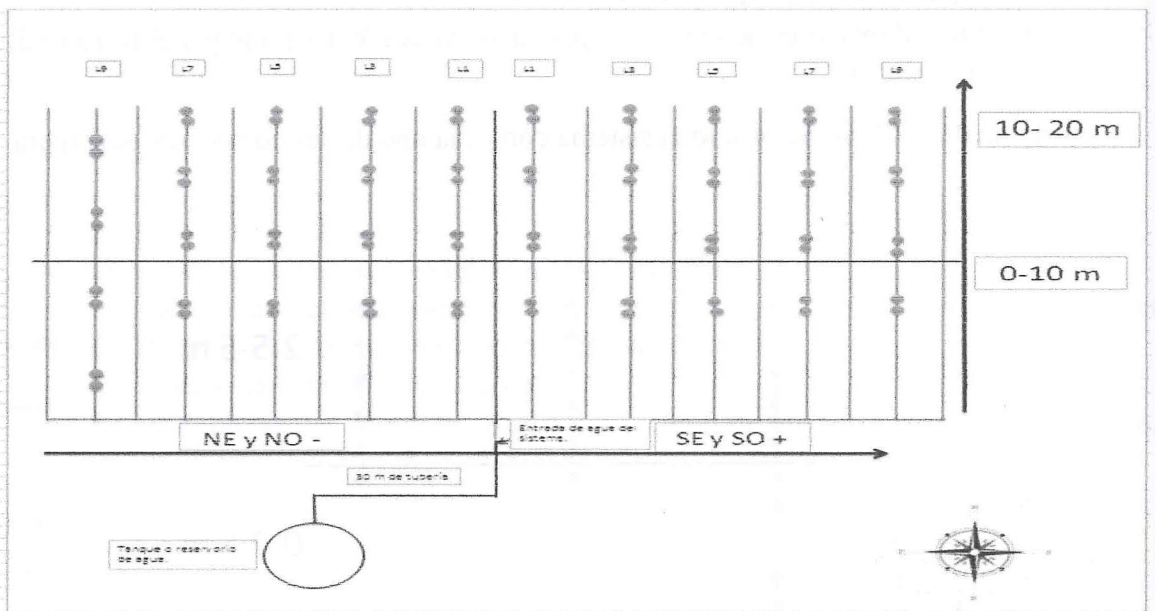


Figura 2. Sistema iDE de 20×20 m.

Sistema de 4×5 m: Se tomaron datos de los cuatro laterales del sistema. Se muestrearon 40 emisores, diez por lateral de riego. El aforo de los emisores fue con el método directo, que consiste en tomar la descarga de los emisores (mL) en un tiempo determinado. Se llenó la bolsa o reservorio de agua a una altura de 1.40 m sobre el nivel del suelo. Se tomaron datos al minuto seis después de iniciarse el riego, luego al minuto doce, para evaluar la influencia de la altura de la lámina de agua (carga) en la descarga de los emisores. Se hicieron cinco repeticiones en espacio siguiendo el mismo procedimiento. El sistema se dividió en cuadrantes para determinar la diferencia en la descarga de agua de los emisores (Figura 1).

Toma de datos para cálculo del Coeficiente de variación de fabricación:

Para el CV_f se diseñó y construyó un circuito hidráulico cerrado con tubería de PVC de dos pulgadas de diámetro, de 5 m de largo por 2 m de ancho. Se utilizaron conectores iniciales tipo válvula, de PVC a cinta en ambos extremos de los seis laterales de riego, con el fin de lograr un flujo continuo en el sistema. Se utilizaron laterales y microtubos nuevos, con las mismas medidas y el mismo distanciamiento que los usados en los sistemas evaluados.

Pendiente:

Sistema de 20×20 m: Se usó un nivel A para medir la pendiente del terreno. Se ubicaron dos estacas distanciadas a 5 m paralelas al lateral de riego y con un nivel se tomaron las diferencias de altura de los extremos, hasta llegar al final del lateral.

Sistema 4×5 m: El terreno utilizado para este sistema estaba a nivel, es decir que no hubo pendiente.

Cargas del tanque:

Sistema de 20×20 m: Se midió la altura del espejo de agua del tanque sobre el nivel del suelo, esta medición se realizó en los tiempos determinados. Obteniendo las siguientes cargas:

<u>Minuto</u>	<u>Carga</u>
0	2.30 m
20	1.89 m
40	1.61 m
60	1.36 m

Sistema de 4×5 m: Se midió la altura del espejo de agua de la bolsa sobre el nivel del suelo en cada tiempo en que se tomaron los datos, obteniendo las siguientes cargas:

<u>Minuto</u>	<u>Carga</u>
6	1.33 m
12	1.26 m

Con los datos de aforo se calcularon los siguientes parámetros de uniformidad de distribución de agua para el sistema de 20×20 m.

Coefficiente de Uniformidad (CU). Es un método elaborado por J.E. Christianssen. Es un indicador de que tan iguales o desiguales son las tasas de aplicación resultantes a través de los emisores. Un CU bajo indica que las tasas de aplicación a través de los emisores son bastante diferentes mientras que un CU alto indica que las precipitaciones horarias son bastante similares entre ellas. El CU puede ser influenciado por el diámetro de la tubería, cambios en el sistema y sus componentes, tales como eficiencia de la bomba o regulación de la presión. Para que el valor de CU sea aceptable no debe de ser inferior a 88% ya que de ser más bajo representa un desperdicio de agua, creando zonas de exceso y de deficiencia dentro del área de riego (Burtz y Styles 2000).

Para el cálculo de CU se tomó el caudal de los 80 goteros aforados para el sistema de 20 × 20 m. Se usó la fórmula:

$$CU = \left[1 - \frac{(\sum |X_i - \bar{X}|)}{(\bar{X})(n)} \right] \times 100 \quad (1)$$

Donde:

CU = Coeficiente de uniformidad, en porcentaje.

X_i = Datos individuales de los caudales de los goteros muestreados.

$\bar{X}$ = Promedio de los goteros aforados.

n = Número de goteros aforados.

$|X_i - \bar{X}|$ = Valor absoluto de la diferencia entre $X_i - \bar{X}$

Uniformidad de la Distribución (DU). Este método se originó en el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA). Compara la lámina promedio de agua que cae en 25% de los recipientes que percibe la menor lámina, con la lámina promedio del 100% del área. El valor mínimo de DU para una uniformidad aceptable es de 79% (Burtz y Styles 2000).

Para el cálculo de DU se utilizó el 25% de los goteros con menor caudal, y la siguiente fórmula:

$$DU = 100 \times \left(\frac{Lp25\%}{\bar{X}} \right) \quad (2)$$

Donde:

DU = Uniformidad de la distribución, en porcentaje

LP 25% = Promedio del 25% de los goteros que reciben la mínima descarga.

$\bar{X}$ = Promedio de todos los datos.

Coeficiente de variación de fabricación (CV_f). Nos indica la variabilidad de descarga de una muestra aleatoria de una marca, modelo y tamaño de emisor determinado sin haber tenido algún uso (Burtz y Styles 2000). Para su cálculo se utilizó la fórmula siguiente:

$$CV_f = \frac{s}{Q_{med}} \quad (3)$$

Donde:

s = Desviación estándar de los goteros muestreados.

Q_{med} = Caudal promedio de los aforos de los goteros de la muestra.

Coeficiente de uniformidad en la emisión (EU). Determina la uniformidad de descarga de los emisores en relación al coeficiente de variación de fabricación. Para su cálculo se utilizó la fórmula siguiente:

$$EU = 100 \left[1 - \frac{1.27 CV_f}{\sqrt{n}} \right] \left(\frac{q_m}{q_a} \right) \quad (4)$$

Donde:

EU = Uniformidad en la emisión, en porcentaje.

n = Número de emisores muestreados.

CV_f = Coeficiente de variación de fabricación.

q_m = Gotero con la mínima descarga, L/h.

q_a = Promedio de descarga de los goteros, L/h.

Los resultados fueron analizados con el programa estadístico Minitab 13.

Análisis estadístico. Para el análisis del sistema de 20 × 20 m se usó:

Un arreglo factorial 2 × 2 × 3 (pendiente de 1 y 3%; pendiente Oeste – Este y Norte – Sur; cargas de 1.89 m, 1.61 m y 1.36 m), con tres repeticiones en tiempo para analizar los parámetros de uniformidad en el sistema. Para determinar si existía diferencia significativa entre las variables analizadas se hizo un análisis de varianza.

Se utilizó una regresión lineal para analizar la descarga del sistema, en terrenos con pendientes de 1 y 3%.

Para el análisis del sistema de 4 × 5 m se usó:

Un Diseño Completo al Azar (DCA) y se hizo una separación de medias utilizando el método de Tukey, probabilidad <0.05.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Coefficiente de variación en la fabricación. El CV_f calculado fue 24%; este resultado difiere del obtenido por Thompson (2009) que fue de 6% en un sistema similar. Esto nos indica que la calidad de fabricación no es la adecuada para que el sistema trabaje eficientemente.

Parámetro de medición de la uniformidad de la descarga. Se encontró diferencia significativa en la carga en EU y DU, a menor carga los valores son menores. Cargas promedio de 1.89 m y 1.61 m dan como resultado mayores valores en EU y DU, a diferencia de cargas de 1.36 m que muestra un valor menor (Cuadro 2).

Un cambio en la pendiente de 1 a 3% resultó en una diferencia para DU, reduciéndolo en 5.6%. Esto debido a que en pendiente de 1% la distribución es menos afectada por el peso específico del agua y la gravedad, en este caso la descarga es afectada por las pérdidas por fricción del sistema.

La pendiente N→S afectó en 14% el DU y 7.5% el CU debido a factores como el peso específico del agua, la gravedad y la pendiente, ya que la mayor diferencia de altura entre el punto de abastecimiento y el punto de emisión causa una mayor acumulación y presión en los puntos bajos del sistema; esto no afectó al EU. Lo mismo sucede con la pendiente O→E la cual afectó en 13.26% el EU, 9.27% el DU y 2.96% el CU, favoreciendo la emisión en los puntos bajos del sistema (Cuadro 2).

Valores promedio de 75.30% para CU, 68.83% para DU y 56.38% para EU son inferiores a los rangos recomendados por Tarjuelo (1999), con CU de 87%, DU de 80% y EU de 79%.

Cuadro 2. Efecto de la carga y pendiente para los parámetros de uniformidad en terrenos con pendiente de 1 y 3% para sistemas de 20 × 20 m

Variables	EU %	DU %	CU %
	Media	Media	Media
Carga			
1.89	59.45a	70.47a	74.28a
1.61	59.68a	69.77a	77.28a
1.36	49.38b	63.74b	73.67a
Pendiente (%)			
1	58.78a	70.82a	75.71a
3	53.56a	65.17b	74.45a
Pendiente N→S			
Bloque SE y SO	58.31a	79.59a	79.00a
Bloque NE y NO	54.03a	65.39b	71.15b
Pendiente O→E			
0-10m	49.54b	63.36b	71.49b
10-20m	62.8a	72.63a	74.45a
N→S × O→E			
SE y SO 0-10 m	50.51a	65.97a	76.34a
SE y SO 10-20 m	66.11a	75.22a	81.67a
NE y NO 0-10 m	48.57a	60.76a	66.64a
NE y NO 10-20 m	59.48a	70.03a	76.67a
Pendiente × N→S			
1% SE y SO	59.53a	75.5a	80.86a
1% NE y NO	58.02a	69.15a	70.55a
3% SE y SO	57.09a	68.69a	77.15a
3% NE y NO	50.04a	61.64a	71.75a
Pendiete × O→E			
1% 0-10 m	54.17a	66.49a	72.40a
1% 10-20 m	63.38a	75.15a	79.01a
3% 0-10 m	44.91a	60.23a	70.58a
3% 10-20 m	62.21a	70.10a	78.33a

Medias con diferente letra en cada columna difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$).

EU: Uniformidad en la emisión, DU: Uniformidad de la distribución, CU: Coeficiente de uniformidad.

Parámetro de uniformidad en pendiente del terreno de 1%. La pendiente N→S afectó en 10.31% al CU favoreciendo la distribución de agua en los puntos más bajos del sistema. La pendiente O→E afectó en 8.66 puntos porcentuales al DU y en 6.61% al CU.

Ambas variaciones se deben a factores como peso específico del agua y gravedad esto por la diferencia de altura entre el punto de abastecimiento y el punto de emisión, lo que provoca una mayor acumulación y presión en los puntos bajos del sistema (Cuadro 3).

Valores promedio de 58.77% para EU, 70.82% para DU y 75.97% para CU, son inferiores a los recomendados por Tarjuelo (1999).

Cuadro 3. Efecto de la carga y la pendiente para los parámetros de uniformidad en el sistema de 20 × 20 m en terreno con pendiente de 1%

Variables	EU	DU	CU
	Media	Media	Media
Carga (m)			
1.89	61.31a	72.91a	72.36a
1.61	61.47a	71.82a	78.47a
1.36	53.55a	67.73a	76.29a
Pendiente N→S			
Bloque SE y SO	59.53a	72.5a	80.86a
Bloque NE y NO	58.02a	69.15a	70.55b
Pendiente O→E			
0-10 m	54.17a	66.49b	72.4b
10-20 m	63.38a	75.15a	79.01a
N→S × O→E			
Derecha 0-10 m	53.64a	67.79a	78.33a
Derecha 10-20 m	65.42a	77.2a	83.39a
Izquierda 0-10 m	54.7a	65.19a	66.47a
Izquierda 0-20 m	61.33a	73.1a	76.64a

Medias con diferente letra en cada columna difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$).

EU: Uniformidad en la emisión, DU: Uniformidad de la distribución, CU: Coeficiente de uniformidad.

Parámetros de medición de uniformidad en pendiente del terreno de 3%. Se encontró diferencia significativa en cuanto a la carga en CU, a menor carga los valores son menores. Cargas promedio de 1.89 y 1.61 m dan como resultado mayores valores en CU a diferencia de cargas de 1.36 m que muestra un valor menor. No se encontró diferencia para EU y DU.

La pendiente N→S afectó en 7 puntos porcentuales el DU y en 5.39 puntos porcentuales el CU favoreciendo la emisión en los puntos más bajos del sistema, esto debido a factores como peso específico del agua, gravedad y pendiente, debido a la diferencia de altura del punto de abastecimiento al punto de emisión.

La pendiente O→E afectó en 17.3 puntos porcentuales al EU, en 9.87 puntos porcentuales al DU y en 7.75 puntos porcentuales al CU, esto debido a la acumulación de agua en los puntos bajos del sistema (Cuadro 4).

Los valores de los parámetros de medición en este caso son menores a los de pendiente de 1% debido a que mayor pendiente la uniformidad del sistema es menor. Valores promedio de 53.56% para EU, 65.16% para DU y 74.45% para CU son inferiores a los recomendados por Tarjuelo (1999).

Cuadro 4. Efecto de la carga y la pendiente para los parámetros de uniformidad en el sistema de 20 × 20 m en terreno con pendiente de 3%

Variables	EU%	DU%	CU%
	Media	Media	Media
Carga			
1.85	57.60a	68.02a	76.21a
1.61	57.89a	67.73a	76.10a
1.36	45.21a	58.74a	71.05b
Pendiente N→S			
SE y SO	57.09a	68.69a	77.15a
NE y NO	50.54a	61.54b	71.75b
Pendiente O→E			
0-10 m	44.91a	60.23b	70.58b
10-20 m	62.21a	70.10a	78.33a
N→S × O→E			
SE y SO 0-10 m	47.38a	64.14a	74.35a
SE y SO 10-20 m	66.79a	73.24a	79.95a
NE y NO 0-10 m	42.44a	56.32a	66.81a
NE y NO 0-20 m	57.63a	66.96a	76.70a

Medias con diferente letra en cada columna difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$).

EU: Uniformidad en la emisión, DU: Uniformidad de la distribución, CU: Coeficiente de uniformidad.

Uniformidad de la descarga de los emisores en el sistema de 20 x 20 m en terreno con pendientes de 1 y 3%. En la Figura 3 se puede apreciar la diferencia en el rango de descarga del sistema de 20 x 20 m. Esta difiere en que a medida que la pendiente aumenta el rango de descarga incrementa también. Con una menor pendiente el rango de descarga es menor.

La descarga es mayor en los emisores más distantes, es decir los que se encuentran a más de 10 m de la conexión del lateral de riego, esto incrementa con la pendiente de 3%.

En terrenos con pendiente de 3% la descarga es 0.95 mL más por cada metro lineal de lateral de riego, a diferencia de terrenos con pendiente de 1%.

En terrenos con pendiente de 3% se encontró una diferencia de 40 mL entre la máxima y mínima descarga, esto equivale a un 200% de aumento.

En terrenos con pendiente de 1%, la diferencia entre la descarga mínima y máxima fue de 26 mL, lo que equivale a un 100% de aumento.

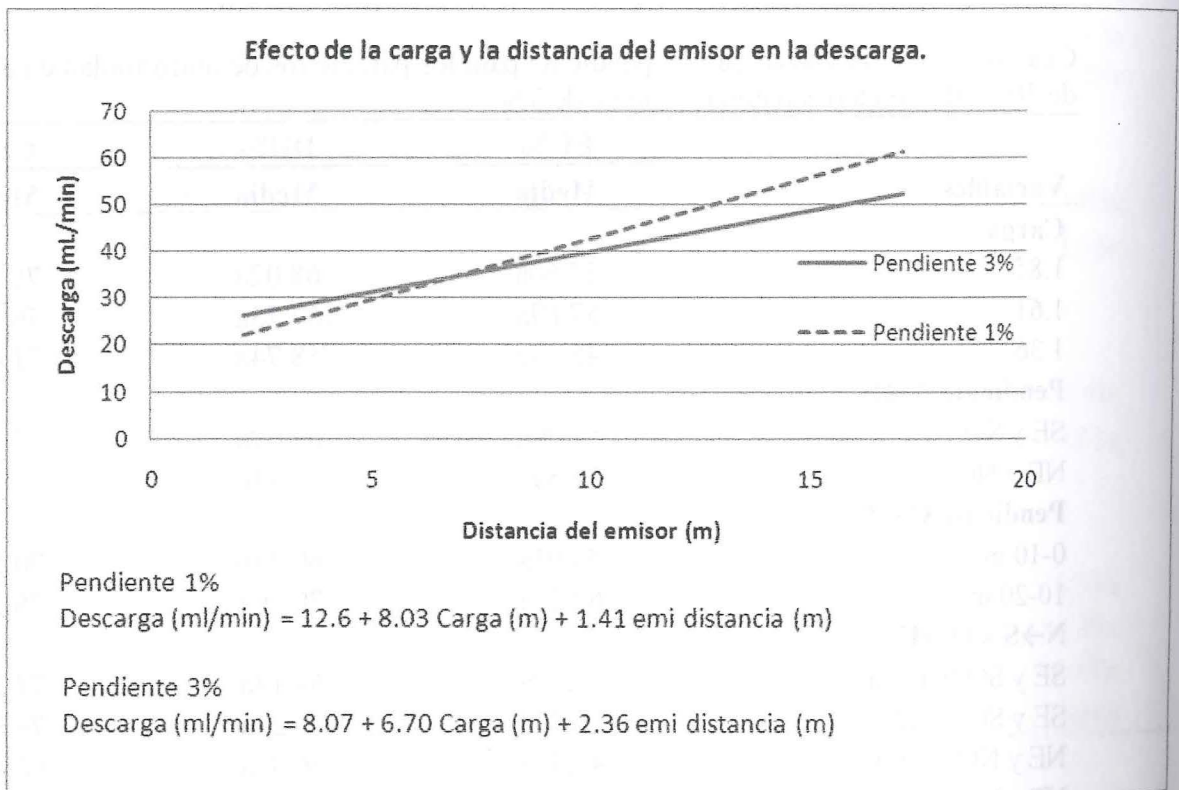


Figura 3. Efecto de la carga y la distancia de emisores en la descargas en terreno con pendientes de 1% y 3% para el sistema de 20 x 20 m

Influencia de la carga en el sistema de riego por goteo de 4×5 m. Se encontró diferencia significativa en cuanto a la dirección O→E. Las medias de la descarga fueron 19.12 mL/min en el tramo de 2.5- 5 m y 26.47 mL/min en el tramo de 0-2.5 m. Esta diferencia de 6 mL se debe a la pérdida por fricción, debido a que la presión con que el sistema trabaja no es suficiente por la carga del mismo. Por lo tanto, la velocidad del agua en la tubería de 16 mm de diámetro y 125 micrones de espesor de pared, se reduce a medida que aumenta el largo del lateral, esto causa una mayor descarga en el primer tramo, debido a que se instaló el sistema en un terreno nivelado. El peso específico del agua, la gravedad y la pendiente no afectan la descarga de agua de los emisores (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto de la carga y la pendiente sobre la descarga del sistema de riego por goteo de 4×5 m

Variables	Media
Carga (m)	
1.33	23.10a
1.26	22.49a
N→S	
SE y SO	23.26a
NE y NO	22.33a
O→E	
2.5- 5 m	19.12b
0-2.5 m	26.47a
N→S × O→E	
SE y SO 2.5-5 m	19.53a
SE y SO 0-2.5 m	26.99a
NE y NO 2.5-5 m	18.72a
NE Y NO 0-2.5 m	25.94a

Medias con diferente letra en cada columna difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$).

4. CONCLUSIONES

- En el sistema de 20×20 m se encontró una diferencia en EU, CU y DU en la pendiente y carga, esto debido a que el peso específico del agua, la gravedad y la pendiente en conjunto provocan una acumulación de agua en las partes bajas del sistema, en relación a las diferencias de altura del punto de abastecimiento y el punto de descarga del emisor.
- Los parámetros de uniformidad en sistemas de 20×20 m son inferiores a los recomendados para sistemas convencionales según Tarjuelo (1999), esto debido a que IDE ha tenido que sacrificar la uniformidad del sistema a cambio del costo del material, para que éste sea accesible para pequeños productores.
- El CV_f obtenido del estudio fue 24%, mayor al 6% obtenido por Thompson (2009), esto pudo deberse a variaciones en cuanto a la regulación de la válvula o a la calidad de fabricación del microtubo.
- En el sistema de 20×20 m el terreno con pendiente de 1 y 3% y cargas de 1.36 m influyen de forma negativa en la uniformidad del sistema en cuanto a EU y DU, De igual manera para el CU con pendiente de 3%
- En los sistemas de 4×5 m la distribución de agua se vio afectada por pérdidas de fricción, esto debido a que la velocidad del agua disminuye a medida que se desplaza por el lateral, esto implica que a mayor largo de lateral las pérdidas de fricción son mayores. Por lo tanto, la descarga fue menor en el tramo de 2.5-5 m.

5. RECOMENDACIONES

- Evaluar el desempeño del sistema con cultivos para analizar cómo afecta la uniformidad de descarga al desarrollo de la planta. Se puede analizar el sistema adicionando fertilizantes solubles en agua.
- En el sistema de 20×20 m se recomienda probar diferentes longitudes de emisores para determinar si existe una reducción en la descarga de los emisores posicionados en el tramo de 10 a 20 m y de esta manera determinar si existe o no una diferencia en los parámetros de uniformidad en el sistema en terrenos con pendientes mayores o iguales a 3%.
- En sistemas de 20×20 m con pendientes mayores o iguales a 3% se recomienda trabajar con laterales menores a 20 m de largo y cargas menores a 1.6 m.
- En sistemas de 20×20 m se recomienda trabajar en pendientes menores al 3% ya que pendientes iguales o mayores tienen un efecto negativo en los parámetros de uniformidad del sistema.
- En sistemas de 4×5 m con terrenos nivelados se recomienda evaluar tuberías con diámetros mayores a 16 mm para evaluar el efecto de fricción. De igual manera se recomienda trabajar con carga de 1.5 m para reducir la pérdida de presión a lo largo del sistema.
- En cuanto a instalación, se recomienda que la tubería principal y secundaria no tenga quiebres o fugas, ya que esto influye en la presión o flujo de agua dentro de la tubería. También se recomienda la limpieza de filtros cada vez que se va a utilizar el sistema. Al momento de operar el sistema se recomienda supervisar que en un lapso de tiempo (10 min) no se detenga la descarga por la estrangulación de la válvula.
- Se recomienda trabajar con la tubería principal del sistema paralela a la pendiente y los laterales de riego perpendiculares a la misma en curvas a nivel.

6. LITERATURA CITADA

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

FAO. 2005. Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor. Uso de agua en la agricultura (en línea). Consultado el 10 de Octubre 2011. Disponible en: <file:///C:/Documents%20and%20Settings/grace.williams/Desktop/Tesis%20grace/Informacion/Enfoques%20%20Uso%20del%20agua%20en%20la%20agricultura.htm>

Hargreaves, G.H y Merkle, G.P. 2000. Fundamentos del Riego. EU. Water Resources Publications. 221 p.

Palada M, Bhattarai S, Wu DL, Roberts M, Bhattarai M, Kimsan R, Midmore D. 2011. More Crop Per Drop: Using Simple Drip Irrigation Systems for Small-scale Vegetable Production. AVRDC – The World Vegetable Center, Shanhua, Taiwan. AVRDC Publicación No. 09-729. 83 p.

Programa estadístico MINITAB™ 13. 1999.

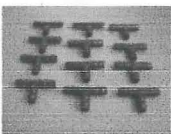
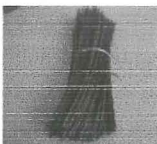
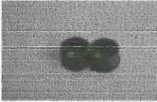
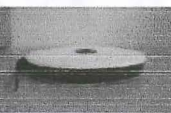
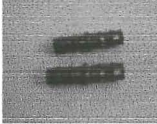
Tarjuelo J.M. 1999. El riego por aspersión y su tecnología. 2ed. 569 p.

Thompson E. 2009. Hydraulics of IDEAL drip irrigation systems. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of science. Utah State University. 169 p.

Vargas A. 2008. Evaluación de la uniformidad de distribución del agua de seis cintas de goteo en condiciones de El Zamorano. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Escuela Agrícola Panamericana Tegucigalpa, Honduras. 22 p.

7. ANEXOS

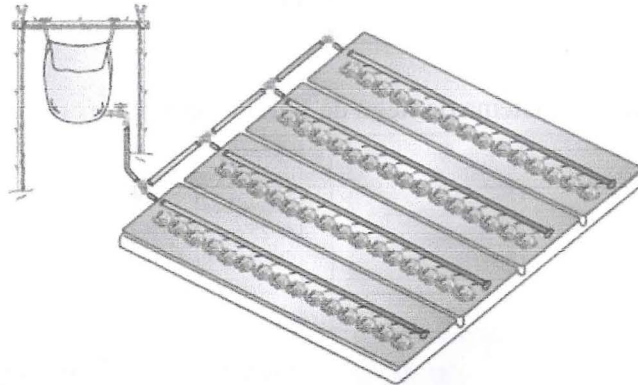
Anexo 1. Componentes del sistema de riego de IDE de 20 × 20 m.

Tes de 16 mm	12	Conectan la tubería principal con la secundaria.		Microtubos de 25 cm de longitud	315 m	Tienen un diametro de 0.5 mm, estos se insertan en el lateral de riego.	
Tapones finales	2	Evitan un flujo de agua por la tubería secundaria.		Punchadores	3	Utilizados para la perforación del lateral de riego.	
Tubería de polietileno	1	Tubería de 16 mm de diametro para principal del sistema		Camisas	11	Para la unión de los laterales de riego al sistema	
Lateral de riego	102 m	Lateral sin perforaciones, debe conectarse a la tubería secundaria		Conexiones de 16 mm	1	Para unir la tubería secundaria en caso se quiebre.	

Fuente: Palada *et al* 2011. More Crop Per Drop: Using Simple Drip Irrigation Systems for Small-scale Vegetable Production.

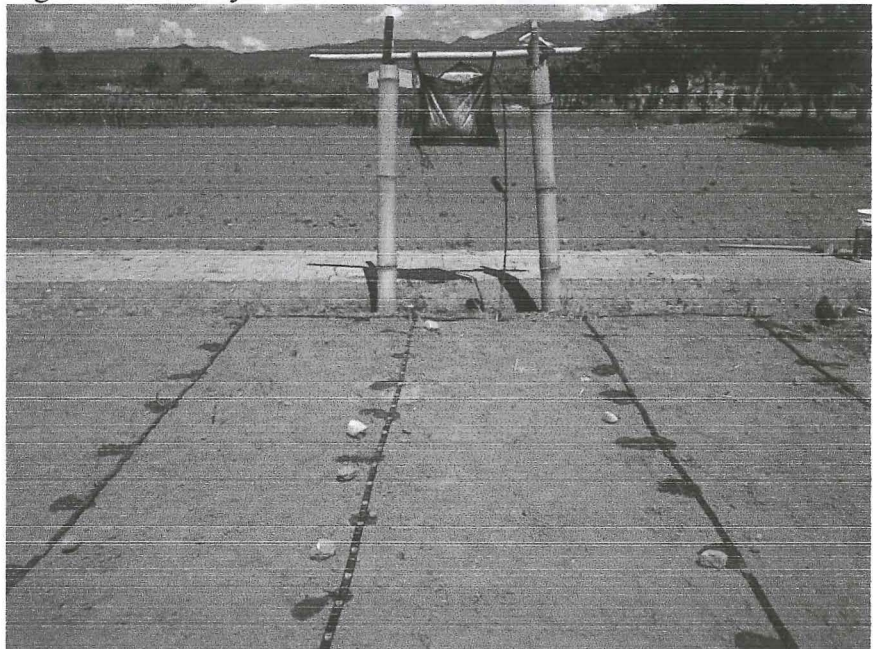
Anexo 2. Esquema del sistema de iDE de 4×5 m o Family Nutrition Kit

5.1.1 Family Nutrition Kit 20 m^2 - IDS 20

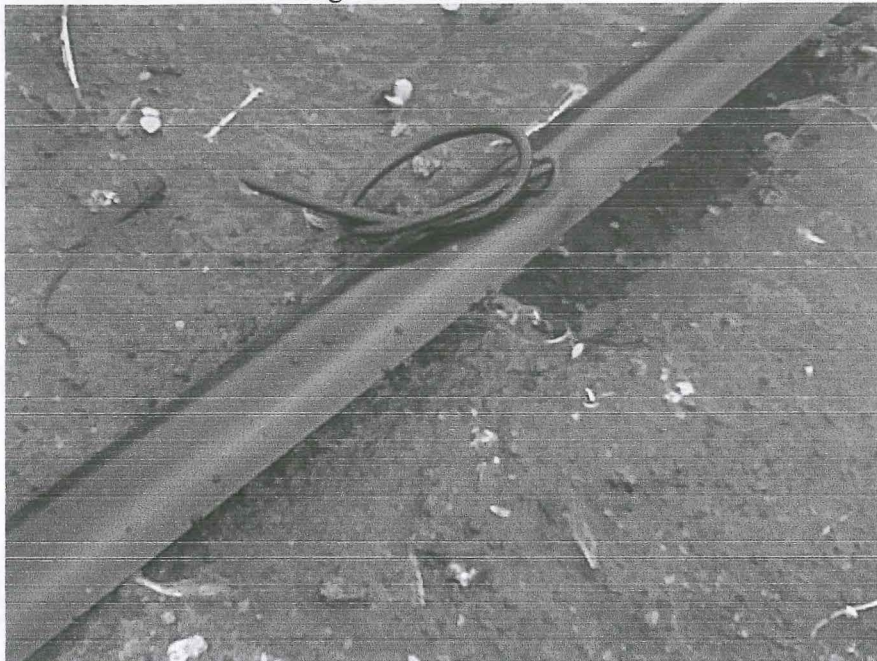


Fuente: Palada *et al* 2011. More Crop Per Drop: Using Simple Drip Irrigation Systems for Small-scale Vegetable Production

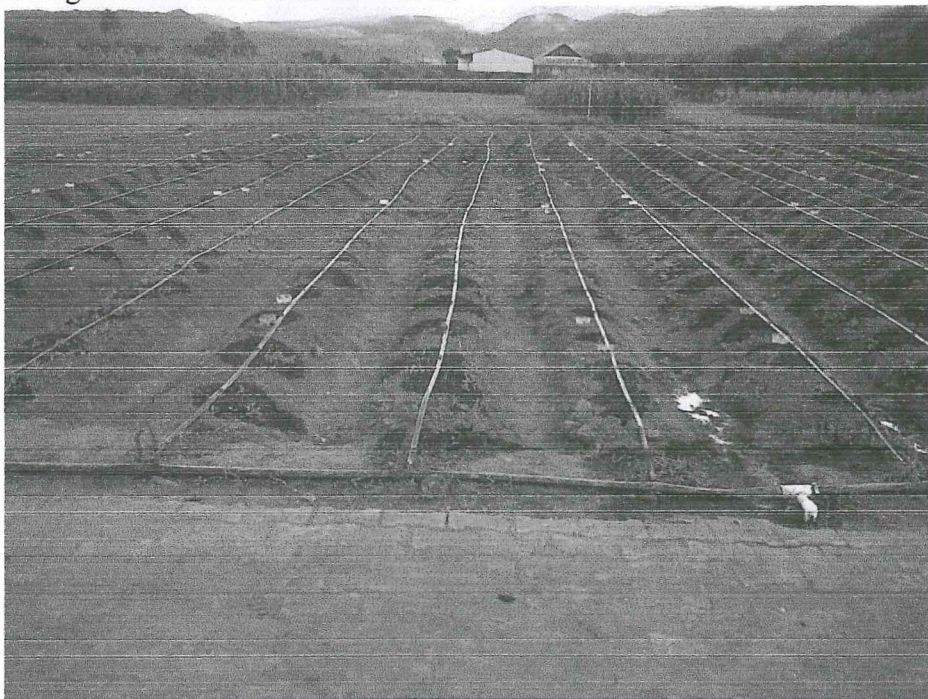
Anexo 3. Fotografía del Family Nutrition kit



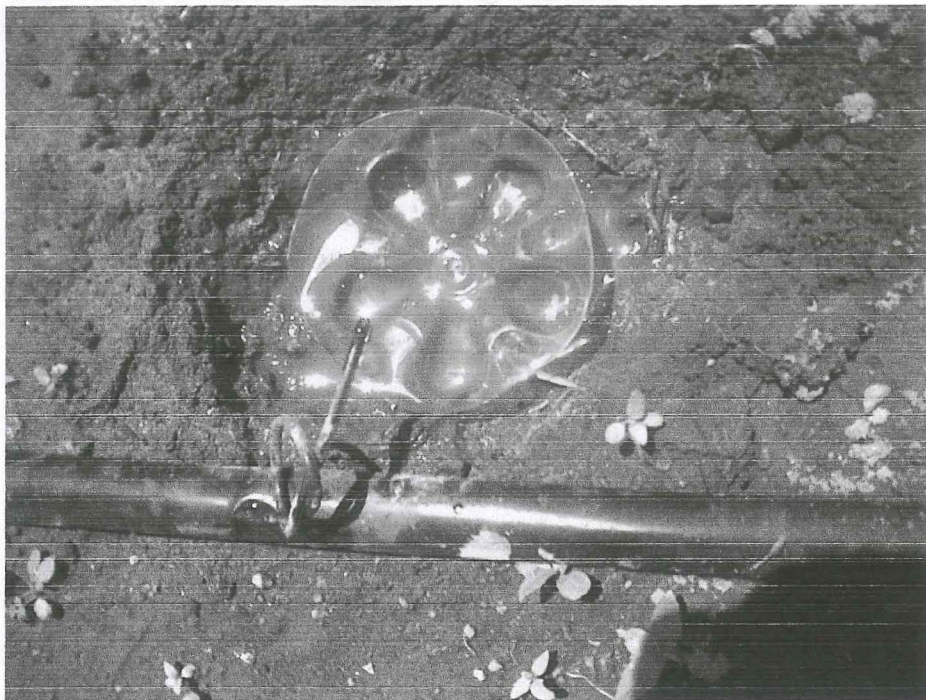
Anexo 4. Microtubos de 25 cm de longitud de ambos sistema



Anexo 5. Fotografía del Sistema de 20 × 20 m



Anexo 6. Método de aforo de los emisores en ambos sistemas.



303269