

**Evaluación técnica de tres laterales de riego
por goteo a baja presión en un huerto
biointensivo**

**José Adrián Ordoñez Bonilla
Alejandro José Ventura Hernández**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2015

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación técnica de tres laterales de riego por goteo a baja presión en un huerto biointensivo

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

Presentado por

José Adrián Ordoñez Bonilla
Alejandro José Ventura Hernández

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2015

Evaluación técnica de tres laterales de riego por goteo a baja presión en un huerto biointensivo

Presentado por:

José Adrián Ordoñez Bonilla
Alejandro José Ventura Hernández

Aprobado:

Francisco Álvarez, M.A.E
Asesor principal

John Jairo Hincapié, Ph.D.
Director
Departamento de Ciencia y
Producción Agropecuaria

Julio López, M.Sc.
Asesor

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Patricia Arce, Ing. Agr.
Asesor

Evaluación técnica de tres laterales de riego por goteo a baja presión en un huerto biointensivo

José Adrián Ordoñez Bonilla
Alejandro José Ventura Hernández

Resumen: Los sistemas de riego por goteo de baja presión tienden a presentar coeficientes de uniformidad bajos y variaciones en el caudal que afectan el rendimiento de los cultivos. Para este estudio se manejó un rango de presión entre 2.1 y 3.4 PSI. Los tres tratamientos fueron: iDEal 100%, GoPin 80% y Eolos 60% de la evapotranspiración del cultivo. Los objetivos fueron determinar, durante siete semanas la variación semanal del caudal; calcular el coeficiente de uniformidad (CU) y determinar el efecto en el rendimiento del cultivo de lechuga, variedad Escarola, al asignarle un volumen de riego a cada tratamiento a partir de la evapotranspiración del cultivo. El estudio se llevó a cabo en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas ubicado en Monte Redondo, en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Para el análisis estadístico se utilizó un DCA con separación de medias LSMEANS y DUNCAN con un nivel de probabilidad ($P \leq 0.05$). Todos los tratamientos presentaron variaciones significativas, respecto al caudal nominal, siendo iDEal 100% el que tuvo una menor variación. Eolos 60% fue el que tuvo un mejor comportamiento en CU en casi todo el estudio. Solo Eolos 60% presentó CU mayor a lo recomendado. Eolos 60% presentó CU constantes entre semanas en casi todo el estudio, mientras que iDEal 100% no y con tendencia a la baja. GoPin 80% tuvo CU constantes, pero inaceptables. Con Eolos 60% se aplicó un menor volumen de agua y no se encontró diferencia en el rendimiento. En general, el lateral que mejor comportamiento tuvo, tomando en cuenta el CU y rendimientos, fue Eolos 60%.

Palabras clave: Caudal, coeficiente de uniformidad, evapotranspiración del cultivo, rendimiento.

Abstract: The drip irrigation low pressure systems tend to have low uniformity coefficients and variation on the flow that affects the output in crops. For this study we manage a range of pressure of 2.1 and 3.4 PSI. The three treatments where: iDEal 100%, GoPin 80% and Eolos 60% of the ET_c . The objectives were: determine, during the seven weeks the variation in the flow; calculate the uniformity coefficient (UC) and determine the effect on the output of the lettuce crop, variety Escarola, assigning each treatment an irrigation volume of the crop evapotranspiration. The study was conducted in the Regional Center of Innovation for Vegetables and Fruits located in Monte Redondo, in the Panamerican Agricultural School, Zamorano, Honduras. For the statistical analysis we used a CRD with a mean separation LSMEAN and DUNCAN with a probability level ($P \leq 0.05$). All the laterals present a significant variation, based on the nominal flow, being iDEal 100% the lateral that has the least variation. Eolos 60% had the best behavior in UC in almost all the study. Just Eolos 60% present a UC higher than recommended. Eolos 60% present constant UC between weeks in almost all the weeks, while iDEal 100% did not comport like this and with a decreasing tendency. GoPin 80% had a constant UC, but unacceptable. Eolos 60% use a lowest volume of the crop evapotranspiration and there was no difference in the output. In general the lateral that had the best behavior based on the UC and the output was Eolos 60%.

Key words: Crop evapotranspiration, flow, output, uniformity coefficient.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	v
Índice de cuadros, figuras y anexos	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
4. CONCLUSIONES	18
5. RECOMENDACIONES	19
6. LITERATURA CITADA.....	20
7. ANEXOS	22

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros		Página
1.	Variables climáticas en la EAP, Zamorano, Honduras, agosto y septiembre 2015.....	3
2.	Tratamientos y codificación.....	5
3.	Características de los laterales de riego evaluados.....	5
4.	Materiales y costos para 100 m ² de los sistemas de almacenamiento y conducción de cada unidad experimental.....	6
5.	Materiales del sistema de distribución y costos para 100 m ² de la unidad experimental con el lateral iDEal con micro tubos.....	6
6.	Materiales del sistema de distribución y costos para 100 m ² de la unidad experimental con el lateral Diconsa con gotero pinchado regulable.....	6
7.	Materiales del sistema de distribución y costos para 100 m ² de la unidad experimental con el lateral Eurodrip Eolos Compact.....	7
8.	Costos totales de cada lateral de riego para 100 m ² , por unidad experimental.....	7
9.	Caudal nominal de los laterales de riego evaluados.....	8
10.	Determinación del porcentaje de área bajo riego (PAR), por lateral.....	9
11.	Evapotranspiración semanal estimada del cultivo de lechuga de hoja en agosto en la EAP, Zamorano, Honduras.....	10
12.	Plan de riego semanal para lechuga Escarola, según el lateral de riego utilizado, en la EAP, Zamorano, Honduras.....	11
13.	Variación del caudal del tratamiento iDEal 100%.....	13
14.	Variación del caudal del tratamiento GoPin 80%.....	14
15.	Variación del caudal del tratamiento Eolos 60%.....	14
16.	Coeficiente de uniformidad entre los tratamientos por semana.....	15
17.	Coeficiente de uniformidad por tratamiento entre semanas.....	16
18.	Rendimientos obtenidos por el efecto del riego por tratamiento en la EAP, Zamorano, Honduras.....	16
19.	Comparación de producción de lechuga, variedad Escarola en la unidad experimental con el lateral Eurodrip Eolos Compact, y la unidad de Olericultura de la EAP, Zamorano, Honduras.....	17

Figura	Página
1. Dimensiones y área de la unidad experimenta, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras.....	4
2. Diagrama del experimento de evaluación de tres lateral de riego, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras.....	12
Anexo	Página
1. Elaboración de cama biointensiva con doble excavado, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras	22
2. Riego del lateral iDEal con micro tubos, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras.....	23
3. Riego del lateral Diconsa con gotero pinchado regulable, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano Honduras	23
4. Riego del lateral Eurodrip Eolos Compact, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras.....	24
5. Medición de volúmenes aforados, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras.....	24
6. Sistema de alimentación y almacenamiento de cada unidad experimental, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras	25
7. Bulbo de humedad con el lateral de riego iDEal con micro tubos, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras.....	26
8. Bulbo de humedad con el lateral de riego Diconsa con gotero pinchado regulable, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras	26
9. Bulbo de humedad con el lateral de riego Eurodrip Eolos Compact, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras	27

1. INTRODUCCIÓN

Desde el año 2012, el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas ha venido desarrollando huertos biointensivos en zonas rurales de Honduras. El objetivo de la implementación de estos huertos es mejorar la producción de alimentos en las comunidades del área rural y así incrementar la calidad de vida de las familias en cuanto a nutrición y seguridad alimentaria. Este proyecto tuvo sus inicios en ese mismo año en Intibucá y La Paz, y hasta la fecha tiene sus alcances en distintas aldeas del municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán.

Los huertos familiares biointensivos son un método de agricultura ecológica de autoconsumo y mini comercialización. Estos huertos son de fácil replicación y de tecnología básica. Son implementados principalmente en comunidades que no disponen de la suficiente cantidad y calidad de suelo para poder cultivar y que necesitan la aportación de vitaminas y minerales para la alimentación de su familia. Cuando se habla de huertos familiares biointensivos se tienen que cumplir con diez principios:

- Preparación profunda del suelo
- Uso de la composta
- Uso de semilleros
- Rotación de cultivos
- Cultivo de composta
- Cultivo de dieta
- Uso de semilla criolla
- Siembra cercana
- Asociación de cultivos
- Integración de todos los principios.

En la utilización de los diez principios del método biointensivo no es necesario hacerlo en orden, pero si es necesario que estén todos para así tener un huerto Biointensivo de larga duración que son cinco años (Andrango y Castro 2012). En la implementación de huertos biointensivos se usa principalmente el riego por goteo. Este método de riego logra un humedecimiento directo en el suelo y se caracteriza por tener una baja descarga de agua, generalmente entre uno y diez litros/hora/metro; y con presiones que oscilan entre los 5-15 PSI. Como es de conocimiento general, los pequeños productores difícilmente tienen la capacidad de generar caudales y presiones suficientes para lograr el correcto funcionamiento de los laterales de riego por goteo convencional.

Afortunadamente han surgido en el mercado una variedad de laterales de riego que funcionan a bajas presiones. Estas reemplazan el uso de sistemas de riego por goteo convencional, principalmente para aquellos productores que no cuentan con caudales suficientes para el riego de sus cultivos; sin embargo tienden a presentar coeficientes de uniformidad bajos que afectan el rendimiento de los cultivos, según Williams Chavarría (2011), en el que obtuvo coeficientes de uniformidad de 48% en un sistema de riego de baja presión. Al mismo tiempo, las bajas presiones utilizadas contribuyen a que el taponamiento sea un problema adicional. Estos sistemas pueden funcionar con reservorios elevados de uno a tres metros aprovechando la diferencia de alturas generando un rango de presión de dos a cuatro PSI. Utiliza emisores con diámetros variables y alcanzando descargas entre 0.6-6 litros/hora dependiendo del lateral de riego por goteo (Garay 2012).

En esta investigación se evaluaron tres laterales de riego por goteo a baja presión de operación: la cinta iDEal micro tubos, la manguera Diconsa de gotero pinchado regulable y la cinta Eurodrip Eolos Compact. Los parámetros evaluados fueron: determinar la variación en el caudal, calcular coeficientes de uniformidad (CU), y el rendimiento del cultivo de lechuga, variedad Escarola en tres laterales de riego.

Justificación. La necesidad de hacer un aprovechamiento eficiente del agua es desde hace varios años un reto en la agricultura. Diversas alternativas se han desarrollado para contribuir con ese objetivo; un ejemplo son los sistemas de riego por goteo a baja presión. Debido a eso, se evaluaron tres laterales de riego por goteo que son o pueden ser utilizados en huertos biointensivos. Con esto se estará contribuyendo en el aumento de la eficiencia en cuanto al aprovechamiento del agua en producciones a pequeña escala.

Limitantes en el estudio. No se lograron cumplir con los diez principios básicos de un huerto biointensivo ya que se requiere de mayor tiempo para lograr integrarlos todos. Se cumplió con el primero y octavo principio. La no aplicación de todos los principios no afectó el desarrollo de los objetivos de la investigación.

Los objetivos del estudio fueron: determinar, durante siete semanas la variación semanal en el caudal de los emisores de los tres laterales de riego por goteo con diferente volumen de la evapotranspiración del cultivo; calcular el coeficiente de uniformidad de los emisores de los tres laterales de riego por goteo evaluados durante siete semanas y determinar el efecto en el rendimiento del cultivo de lechuga, variedad Escarola, de tres laterales y volúmenes de riego (100, 80 y 60% de la evapotranspiración del cultivo).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del lugar

El estudio se realizó en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas ubicado en Monte Redondo, en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano (EAP), ubicada en el kilómetro 30, carretera de Tegucigalpa a Danlí, Honduras. El estudio se realizó en agosto y septiembre del 2015. El sitio está a una altitud de 800 msnm y con condiciones climáticas tropicales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Variables climáticas en la EAP, Zamorano, Honduras, agosto y septiembre 2015.

Mes	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Radiación solar (W/m ²)	ET _o (mm)	Precipitación acumulada (mm)
Agosto	23.1	78.1	303.1	3.8	15.2
Septiembre	23.3	81.3	263.8	3.7	64.8

Datos obtenidos de la estación climatológica Davis Vantage Pro 2 Plus.

Fuente de agua. La fuente de donde se obtuvo el agua para el riego fue la microcuenca de Santa Inés.

Descripción del estudio

Preparación del huerto biointensivo. Para comenzar con el estudio se necesitó de la preparación de las camas biointensivas, la instalación de los sistemas de riego por goteo y el trasplante de la lechuga variedad Escarola. Para lograrlo se realizaron las siguientes actividades:

Delimitación de terreno. La parcela para la investigación tuvo un área de 10 m × 36 m (360 m²). La parcela contó con nueve unidades experimentales con un área de 40 m² cada una, incluyendo espacio entre cama. La unidad experimental contaba con dos camas biointensivas (1 m × 10 m) distanciadas a 1 m (Figura 1). Para delimitarla, se utilizaron estacas de madera, cabuya, cinta métrica, machete y martillo.

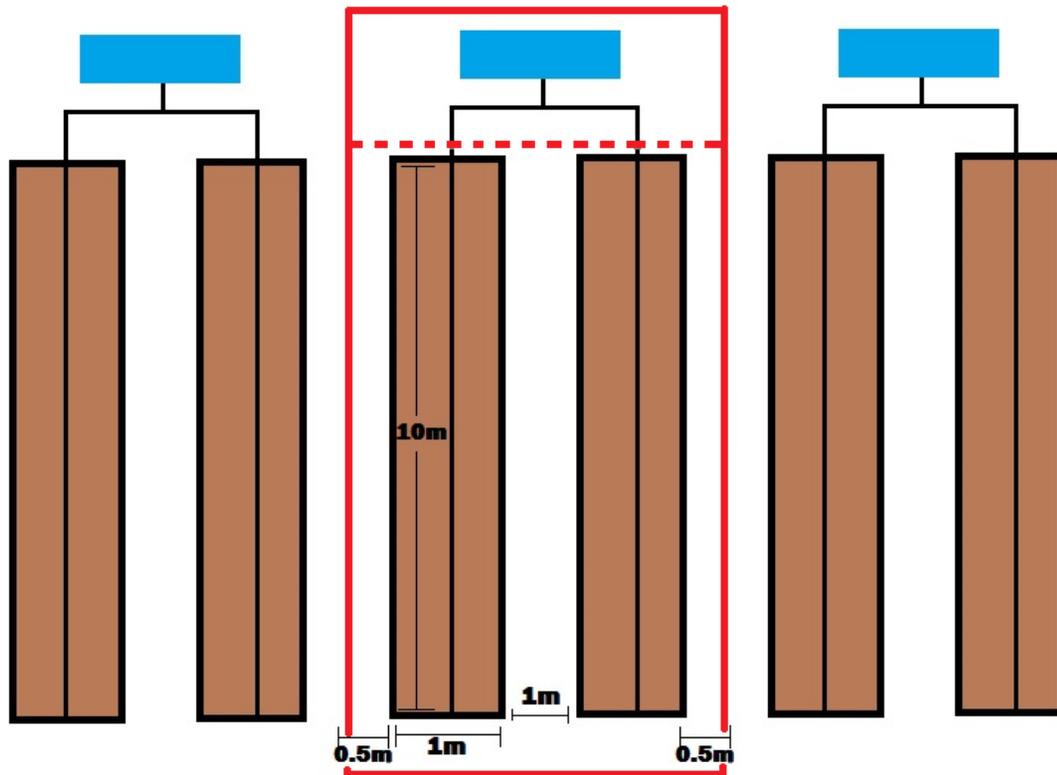


Figura 1. Dimensiones y área de la unidad experimental, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras.

Elaboración de camas biointensivas. Una cama biointensiva es similar a una cama convencional, con la diferencia que lleva un doble excavado. El doble excavado consiste en romper y mullir el suelo (sin voltearlo) con un biello hasta lograr una profundidad de 30 cm; luego, sobre esta excavación, se levanta una cama de 30 cm y así se logra obtener una profundidad efectiva de 60 cm aproximadamente. Se elaboraron 18 camas biointensivas de un metro de ancho por diez metros de largo. Para esta actividad se utilizó pala, azadón, biello y rastrillo.

Construcción de infraestructura para cobertura. Se construyó una infraestructura para colocar un techo a la parcela ya que la lluvia podía afectar la planificación y veracidad en la toma de datos. La infraestructura que se utilizó fue de tipo macro túnel con una altura de 2.5 m en su parte más alta y de 2.0 m en su parte más baja. El techo se hizo con plástico (polietileno) transparente. Se dejaron abiertos los extremos para permitir la circulación del viento para evitar que se generara un microclima diferente al exterior. El techo de la estructura sobresalió 1.5 metros en cada uno de los cuatro extremos de la parcela para evitar el efecto borde de las lluvias. Se eliminó el efecto borde para evitar el humedecimiento indeseado de las camas dentro de la parcela de investigación en casos de lluvia. Esta actividad fue hecha por personas capacitadas en la construcción de estructuras.

Instalación de los sistemas de riego. Cada unidad experimental estaba formada por una bolsa de 200 litros, dos líneas de laterales y dos camas biointensivas. Se instalaron nueve bolsas (200 L) de polietileno de alta densidad recubiertas de polipropileno, las cuales eran alimentadas por medio de una tubería de PVC. Se colocó un filtro de malla de 200 mesh en el sistema de alimentación de cada bolsa. Las bolsas se colocaron a una altura de 1.5 metros, medidos desde el fondo de la bolsa al nivel de las camas biointensivas. A cada bolsa se le hizo una perforación en la parte inferior para instalar una válvula de paso de 16 mm. Posteriormente se hizo la instalación de todo el sistema de tubería que conducía el agua hasta el lateral de riego y emisores. Se instalaron tres laterales de riego por goteo diferentes, considerado cada uno como un tratamiento: la cinta iDEal micro tubos, la manguera Diconsa de gotero pinchado regulable y la cinta Eurodrip Eolos Compact. A cada tratamiento se le asignó una codificación (Cuadro 2). A la cinta iDEal micro tubos y a la manguera de Diconsa de gotero pinchado regulable se le debían añadir los emisores, por lo cual se les hizo perforaciones cada 30 cm para colocar los emisores en cada uno (micro tubos y goteros pinchados regulables, respectivamente). Cada lateral de riego posee características propias (Cuadro 3).

Cuadro 2. Tratamientos y codificación.

Lateral	Tipo	Lateral	Codificación
1	Cinta	iDEal micro tubos	iDEal 100%
2	Manguera	Diconsa de gotero pinchado regulable	GoPin 80%
3	Cinta	Eurodrip Eolos Compact	Eolos 60%

Cuadro 3. Características de los laterales de riego evaluados.

Lateral	Caudal (L/h)	Presión (psi)	Distancia/emisor (m)
iDEal micro tubos	1.0 a 10.0	1.4 a 14.4	0.3
Diconsa con gotero pinchado regulable	0.0 a 6.0	≤ 14.5	0.3
Eurodrip Eolos Compact	0.9 a 1.0	12.0 a 17.0	0.3

Fuente: IDE (s.f), Eurodrip (s.f) y Plasgot (2014), adaptado por los autores.

Cada unidad experimental contaba con un sistema de almacenamiento y conducción de agua, compuestos por diferentes materiales y costos (Cuadro 4). Para los sistemas de distribución cada lateral estaba conformado de diferentes materiales y costos (Cuadro 5), (Cuadro 6) y (Cuadro 7). La suma de los materiales de almacenamiento, conducción y distribución es igual a los costos totales por unidad experimental (Cuadro 8).

Cuadro 4. Materiales y costos para 100 m² de los sistemas de almacenamiento y conducción de cada unidad experimental.

Material	Costo unitario (\$)	Cantidad	Unidad	Total (\$)
Bolsa de polietileno de 200 L	16.82	1.00	unidad	16.82
Codo de PVC de 1"	0.72	1.00	unidad	0.72
Adaptador Macho de PVC de 1"	0.36	2.00	unidad	0.36
Adaptador Hembra de PVC de 1"	0.41	2.00	unidad	0.41
Válvula de paso Abrisa de 16 mm	0.68	1.00	unidad	0.68
Válvula de paso de 16 mm	0.54	2.00	unidad	1.08
Válvula de PVC de 1"	3.77	1.00	unidad	3.77
Filtro de malla de 1"	13.63	1.00	unidad	13.63
Tubería PEBD 16 mm	0.17	2.00	metro	0.34
Tee de PVC de 1"	0.34	1.00	unidad	0.34
Tubería PVC de 1" SDR 26	2.50	6.50	metro	2.70
Costo total				40.85

Cuadro 5. Materiales del sistema de distribución y costos para 100 m² de la unidad experimental con el lateral iDEal con micro tubos.

Material	Costo unitario (\$)	Cantidad	Unidad	Total (\$)
Línea Madre de 25 mm	0.50	10.00	metro	5.00
Cinta lateral de 16 mm y grosor de 200 μ	0.08	50.00	metro	4.00
Micro tubos 1.2 mm, longitud 25 cm	0.01	175.00	unidad	1.75
Empaque	0.20	6.00	unidad	1.20
Total				11.95

Cuadro 6. Materiales del sistema de distribución y costos para 100 m² de la unidad experimental con el lateral Diconsa con gotero pinchado regulable.

Material	Costo unitario (\$)	Cantidad	Unidad	Total (\$)
Línea Madre PEBD 25 mm	0.24	10.00	metro	2.40
Cinta lateral PEBD 12 mm	0.10	50.00	metro	5.00
Gotero Pinchado	0.09	175.00	unidad	15.75
Empaque	0.20	6.00	unidad	1.20
Total				24.35

PEBD: Polietileno de Baja Densidad.

Cuadro 7. Materiales del sistema de distribución y costos para 100 m² de la unidad experimental con el lateral Eurodrip Eolos Compact.

Material	Costo unitario (\$)	Cantidad	Unidad	Total (\$)
Línea Madre PEBD 25 mm	0.24	10.00	Metro	2.40
Cinta Eurodrip Eolos Compact	0.06	50.00	Metro	3.00
Empaque	0.20	1.00	unidad	0.20
Total				5.60

Cuadro 8. Costos totales de cada lateral de riego para 100 m², por unidad experimental.

Lateral	Costo total (\$)
iDEal micro tubos	52.80
Diconsa con gotero pinchado regulable	65.20
Eurodrip Eolos Compact	46.45

Variables

Caudal. Para calcular el caudal se realizaron aforos; para realizar el aforo se seleccionaron al azar de cada unidad experimental doce emisores, seis por cada cama; se dividió cada cama en tres secciones (inicio, medio y final). Este aforo se hizo tres veces a la semana durante siete semanas. Todas las semanas se aforaban los mismos emisores. Se calculó un caudal promedio semanal, durante las siete semanas para cada uno de los laterales. Para calcular el caudal se utilizó la fórmula de aforo directo, ecuación [1]:

$$Q = \frac{V}{T} \quad [1]$$

Dónde:

Q = Caudal, en litros por hora.

V = Volumen, en litros.

T = Tiempo, en horas.

Para esta actividad se usaron probetas, recipientes plásticos y cronómetro.

Variación en el caudal. Para determinar la variación del caudal en los laterales de riego se midieron los caudales por emisor en un lateral nuevo y se determinó un caudal nominal para cada lateral de riego por goteo (Cuadro 9). El caudal nominal es el primer caudal obtenido en el primer aforo, con el lateral de riego y emisores nuevos, bajo condiciones ideales de presión, agua filtrada y brindando las mismas condiciones de pendiente. Para determinar el la variación en el caudal se hizo un análisis estadístico en el cual se comparó el caudal nominal con el caudal promedio obtenido en cada una de las semanas para cada uno de los laterales.

Cuadro 9. Caudal nominal de los laterales de riego evaluados.

Lateral	Caudal (L/h)	Presión (PSI)	Distancia/ emisor (m)
iDEal micro tubos	3.2	3.41	0.30
Diconsas con gotero pinchado regulable	2.27	3.41	0.30
Eolos Compact	0.37	3.41	0.30

Coefficiente de uniformidad. Este coeficiente nos dice que tan uniforme se está comportando el caudal de los emisores con respecto a una media poblacional del caudal. El coeficiente de uniformidad fue determinado en porcentaje, se hizo semanalmente para cada lateral y utilizando la fórmula de Christiansen, ecuación [2]. Tarjuelo (1990) recomienda coeficiente de uniformidad mayores a 88%.

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|}{N \bar{x}}\right) \times 100 \quad [2]$$

Fuente: Salcedo *et al.* (2005)

Dónde:

CUC= Coeficiente de uniformidad de Christiansen.

X_i= Cada una de las observaciones desde i=1 hasta N.

\bar{x} = Promedio de las observaciones.

N= Numero de observaciones.

Efecto del riego en el rendimiento. Antes de hacer el trasplante y la planificación del riego se hizo la primera aplicación de agua en las camas biointensivas con el propósito de medir el área bajo riego (ABR) y con esto calcular el porcentaje de área bajo riego (PAR) (Cuadro 10). Se utilizó el criterio visual para determinar la cantidad de agua a aplicar, se decidió dejar de aplicar agua en el momento que se observó encharcamiento o escurrimiento en la cama biointensiva.

Área bajo riego (ABR). Al finalizar la primera aplicación de agua se obtuvo el ABR en cada unidad experimental. Para medir el ABR se multiplicó el ancho por el largo (metros) del bulbo de humedad formado en cada cama por cada lateral de riego. El ABR y el PAR es importante determinarlos ya que junto con la evapotranspiración del cultivo nos indican el volumen de agua a regar.

Porcentaje de área bajo riego (PAR). A partir del ABR se pudo calcular el PAR en cada unidad experimental, se tomó como referencia el área de la unidad experimental (AUE), ecuación [3]:

$$PAR = \frac{ABR}{AUE} \times 100 \quad [3]$$

Dónde:

PAR= Porcentaje de área bajo riego

ABR= Área bajo riego, en metros cuadrados

AUE= Área de unidad experimental, en metros cuadrados

Cuadro 10. Determinación del porcentaje de área bajo riego (PAR), por lateral.

Lateral	AUE (m ²)	ABR (m ²)	PAR (%)
iDEal micro tubos	40	10	25
Diconsa con gotero pinchado regulable	40	8	20
Eurodrip Eolos Compact	40	6	15

AUE: Área unidad experimental, ABR: Área bajo riego.

Trasplante. Luego de hacer el primer riego se hizo el trasplante de plántulas de lechuga variedad Escarola en las camas biointensivas. El arreglo de siembra que se utilizó fue a doble hilera y tres bolillos con un distanciamiento de 25 cm entre planta e hilera. Se manejó una densidad de 184 lechugas/40 m², equivalente a 460 lechugas/100 m².

Manejo del riego

Evapotranspiración potencial (ET_o). Fueron obtenidos de la estación climatológica de la EAP, Zamorano. Se elaboró un promedio de cada semana de los últimos cinco años para el mes de agosto y primera semana del mes de septiembre, tiempo en el cual el cultivo estuvo en campo.

Coefficiente del cultivo (K_c). Los datos de K_c del cultivo que se utilizaron se tomaron de Hoch Flores (2008) en el que especifica el K_c para cada una de las cinco semanas que el cultivo de lechuga de hoja está en campo.

Evapotranspiración del cultivo (ET_c). Se obtiene de la multiplicación de la ET_o por el K_c (Cuadro 11). Para la planificación semanal del riego se calculó un promedio de las cinco semanas y se utilizó este promedio para la aplicación semanal del riego. Se multiplicó la ET_o semanal por el K_c correspondiente para esa semana, ecuación [4]:

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad [4]$$

Fuente: Valverde (1998)

Dónde:

ET_c= Evapotranspiración del cultivo (mm/semana)

ET_o= Evapotranspiración potencial (mm/semana)

K_c= Coeficiente del cultivo

Cuadro 11. Evapotranspiración semanal estimada del cultivo de lechuga de hoja en agosto en la EAP, Zamorano, Honduras

Semana	ET _o (mm)	Kc	ET _c (mm)
1	30.98	0.76	23.54
2	23.46	0.98	22.99
3	24.86	1.16	28.84
4	24.79	0.99	24.54
5	33.10	0.83	27.47
Total	137.19	-	127.39
Promedio	-	-	25.48

ET_o: Evapotranspiración potencial, Kc: Coeficiente del cultivo, ET_c: Evapotranspiración del cultivo.

Lamina de riego (mm). Es la lámina de riego a suplir al suelo con base en la ET_c. En este caso se dividió la lámina semanal en tres partes para ser aplicada por el sistema tres veces por semana.

Volumen de agua aplicada (L). Es la cantidad de agua necesaria para lograr suplir la lámina de riego requerida. El volumen a aplicar varió en los tres laterales iDEal, GoPin y Eolos; aplicando 100, 80 y 60% (respectivamente) del volumen requerido por la ET_c, ecuación [5]:

$$V = LR \times ABR \quad [5]$$

Dónde:

V = Volumen de agua, en litros.

LR = Lámina de ET_c requerida, en milímetros.

ABR = Área bajo riego expresada, en metros cuadrados.

Tiempo (h). Es el tiempo que se requería activar el sistema de riego para lograr aplicar el volumen de agua requerido, ecuación [6]:

$$Th = \frac{V}{(Qe \times Ne)} \quad [6]$$

Dónde:

Th = Tiempo, en horas.

V = Volumen de agua aplicada, en litros.

Ne = Número de emisores.

Qe = Caudal del emisor, en litros por hora.

Tiempo (min). Es el tiempo que se requería activar sistema de riego para lograr aplicar el volumen de agua requerido, ecuación [7]:

$$T_{min} = T_h \times 60 \quad [7]$$

Dónde:

T_{min} = Tiempo, en minutos

T_h = Tiempo, en horas.

60 = Constante.

Programa de riego. El agua fue proporcionada totalmente por medio de los sistemas de riego. Se elaboró una programación de tiempos de riego para cada lateral, en la cual se distribuyó el volumen semanal según el porcentaje del volumen de la ET_c asignado a cada lateral. El programa explica cuánto tiempo se activó el sistema; dependiendo del caudal de cada lateral, del área bajo riego y de la ET_c (Cuadro 12).

Cuadro 12. Plan de riego semanal para lechuga Escarola, según el lateral de riego utilizado, en la EAP, Zamorano, Honduras.

Unidades	Lunes			Miércoles			Viernes		
	iDEal	GoPin	Eolos	iDEal	GoPin	Eolos	iDEal	GoPin	Eolos
Lámina (mm)	9.5	9.5	9.5	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
AUE (m ²)	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
ABR (m ²)	10.0	8.0	6.0	10.0	8.0	6.0	10.0	8.0	6.0
PAR (%)	25.0	20.0	15.0	25.0	20.0	15.0	25.0	20.0	15.0
Volumen (L)	95.0	76.0	57.0	80.0	64.0	48.0	80.0	64.0	48.0
Tiempo (h)	0.4	0.6	2.3	0.4	0.4	1.9	0.4	0.4	1.9
Tiempo (min)	27.0	33.0	138.0	23.0	26.0	117.0	23.0	26.0	117.0

iDEal: cinta iDEal con micro tubos, GoPin: manguera Diconsa con gotero pinchado regulable, Eolos: cinta Eurodrip Eolos Compact. AUE: Área unidad experimental, ABR: Área bajo riego, PAR: Porcentaje de área bajo riego.

Rendimiento. Al momento de la cosecha se hizo la evaluación de los rendimientos obtenidos en cada lateral. Se tomó como único parámetro el peso obtenido en cada unidad experimental (kilogramos/100 m²). Se pesaron las lechugas de cada unidad experimental y se separaron los resultados, obteniendo un promedio para cada tratamiento. Para esta actividad se utilizó una balanza.

Diseño experimental

Con base en el muestreo de suelo que se realizó en la parcela se encontró una textura franca predominante y estructura granular. Las camas biointensivas tuvieron las mismas condiciones de pendiente cero. Con estas condiciones homogéneas se permitió distribuir los tratamientos aleatoriamente en toda la parcela. El diseño que se utilizó para el análisis de datos fue un diseño completamente al azar (DCA). Fueron nueve unidades experimentales, las cuales cada una contaba con: una bolsa (200 L) de polietileno recubierto de polipropileno, dos camas biointensivas y dos laterales de riego (Figura 2).

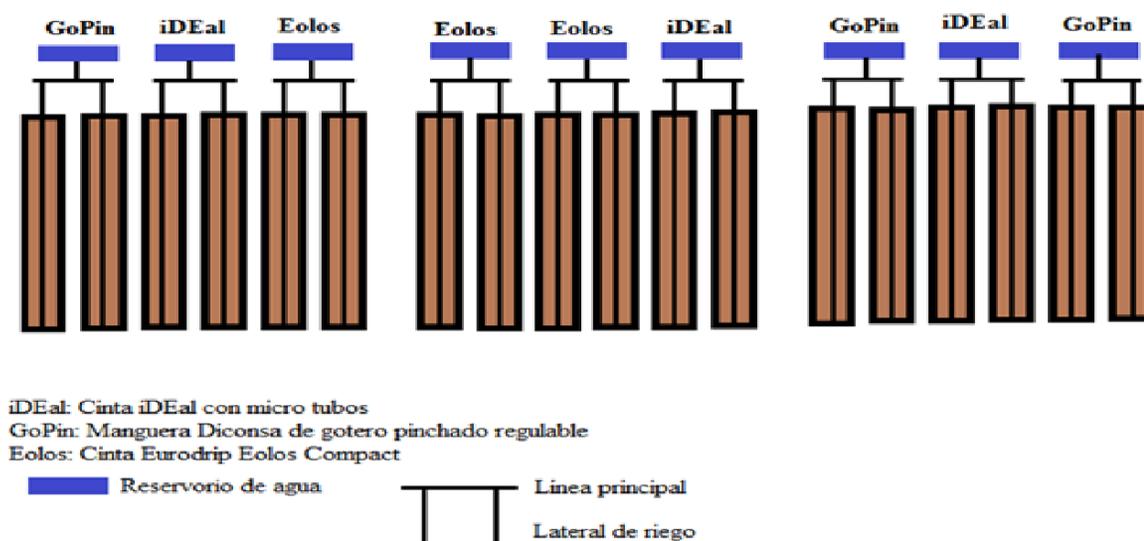


Figura 2. Diagrama del experimento de evaluación de tres laterales de riego, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras.

Análisis estadístico. Se realizó un procedimiento GLM, una separación de medias LS MEANS y DUNCAN. El nivel de probabilidad exigido fue de $P \leq 0.05$. Para el análisis estadístico se utilizó el programa Statistical Analysis System 9.3 (SAS[®] 2013).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación en el caudal

Para el tratamiento iDEal 100% se encontró que durante las primeras cuatro semanas no hubo una variación significativa ($P>0.05$) con respecto al caudal nominal. A partir de la semana cinco se presentaron variaciones significativas ($P<0.05$) en el caudal, con una variación del 7% (Cuadro 13).

Cuadro 13. Variación del caudal del tratamiento iDEal 100%.

Tratamiento	Semana	Caudal (L/h)
iDEal 100%	1	3.20 a ^{&}
	2	3.20 a
	3	3.18 a
	4	3.17 a
	5	2.93 b
	6	2.99 b
	7	3.07 ab
Coeficiente de variación (%)		6.15

[&] Medias con diferentes letras en columnas difieren estadísticamente entre sí ($P\leq 0.05$).

iDEal 100%: cinta iDEal con micro tubos, aplicando el 100% del volumen de la evapotranspiración del cultivo.

Para el tratamiento GoPin 80% se encontró que durante las primeras cinco semanas no hubo una variación significativa ($P>0.05$) con respecto al caudal nominal. A partir de la semana seis se presentaron variaciones significativas ($P<0.05$) en el caudal, con una variación del 30% (Cuadro 14).

Cuadro 14. Variación del caudal del tratamiento GoPin 80%.

Tratamiento	Semana	Caudal (L/h)
GoPin 80%	1	2.27 a ^{&}
	2	2.23 a
	3	2.35 a
	4	2.12 a
	5	2.12 a
	6	1.61 b
	7	1.59 b
Coeficiente de variación (%)		22.21

[&] Medias con diferentes letras en columnas difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$).

GoPin 80%: manguera Diconsa con gotero pinchado regulable, aplicando el 80% del volumen de la evapotranspiración del cultivo.

Para el tratamiento Eolos 60% se encontró que durante las primeras cinco semanas no hubo una variación significativa ($P > 0.05$) con respecto al caudal nominal. A partir de la semana seis se presentaron variaciones significativas ($P < 0.05$) en el caudal. Se presentó una variación del 22% (Cuadro 15).

Cuadro 15. Variación del caudal del tratamiento Eolos 60%.

Tratamiento	Semana	Caudal (L/h)
Eolos 60%	1	0.37 a ^{&}
	2	0.34 ab
	3	0.35 ab
	4	0.31 ab
	5	0.32 ab
	6	0.29 b
	7	0.29 b
Coeficiente de variación (%)		20.6

[&] Medias con diferentes letras en columnas difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$).

Eolos 60%: cinta Eurodrip Eolos Compact, aplicando el 60% del volumen de la evapotranspiración del cultivo.

Las variaciones presentadas en cada uno de los tratamientos se le atribuyen a las obstrucciones presentadas en los emisores. Las obstrucciones se dieron principalmente por la presencia de partículas biológicas (algas principalmente) y físicas (partículas de suelo). Es importante mencionar que la variación en caudal obtenida en cada tratamiento también se vio afectada por el tipo de emisor con el que cuenta cada uno. De mayor a menor en cuanto a diámetro del orificio de salida se tenía: iDEal, GoPin y Eolos.

Coefficiente de uniformidad (CU)

Durante las primeras tres semanas y la semana seis se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre todos los tratamientos, siendo Eolos 60% la que se comporta arriba del 88% recomendado. En la semana cuatro no se encontró diferencia significativa entre Eolos 60% e iDEal 100%, sin embargo solo Eolos 60% se comportó arriba del 88% recomendado. En la semana cinco y siete ninguno de los tratamientos se comportó arriba del 88% recomendado. Eolos 60% fue el que tuvo CU mejores en comparación de los demás tratamientos, presentando diferencias significativas ($P < 0.05$) respecto a los demás laterales a lo largo del estudio y comportándose arriba del 88% recomendado (Cuadro 16). Las diferencias en CU entre los tratamientos se le atribuyen al tipo de emisor con el que contó cada uno.

Cuadro 16. Coeficiente de uniformidad entre los tratamientos por semana.

Tratamiento	Semana						
	1	2	3	4	5	6	7
Eolos 60%	99 a ^{&}	94 a	95 a	90 a	83 a	91 a	76 ab
iDEal 100%	88 b	85 b	87 b	86 a	77 ab	78 b	70 b
GoPin 80%	73 c	77 c	77 c	75 b	73 b	77 b	79 a

[&] Medias con diferentes letras en columnas difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$).

Eolos 60%: cinta Eurodrip Eolos Compact, aplicando el 60% del volumen de la evapotranspiración del cultivo, iDEal 100%: cinta iDEal con micro tubos, aplicando el 100% del volumen de la evapotranspiración del cultivo, GoPin: manguera Diconsa con gotero pinchado regulable, aplicando el 80% del volumen de la evapotranspiración del cultivo.

Eolos 60% y GoPin 80% presentaron CU constantes durante casi todas las semanas, solo Eolos presentó CU mayores a 88%, presentando un promedio semanal de 90%. IDEal 100% presentó un comportamiento con una tendencia a la baja a lo largo de las siete semanas y con CU debajo de 88% (Cuadro 17). Los cambios en CU entre semana se le atribuyen a la obstrucción presentada en los emisores de los tratamientos.

Cuadro 17. Coeficiente de uniformidad por tratamiento entre semanas.

Tratamiento	Semana						
	1	2	3	4	5	6	7
Eolos 60%	99 a ^{&}	94 a	95 a	90 a	83 ab	91 a	76 b
iDEal 100%	88 a	85 a	87 a	86 a	77 b	78 b	70 c
GoPin 80%	73 a	77 a	77 a	75 a	73 a	77 a	79 a

[&] Medias con diferentes letras en filas difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$).

Eolos 60%: cinta Eurodrip Eolos Compact, aplicando el 60% del volumen de la evapotranspiración del cultivo, iDEal 100%: cinta iDEal con micro tubos, aplicando el 100% del volumen de la evapotranspiración del cultivo, GoPin: manguera Diconsa con gotero pinchado regulable, aplicando el 80% del volumen de la evapotranspiración del cultivo.

Rendimiento

No se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos. Eolos 60% utilizó un menor volumen de agua (Cuadro 18). Seguidamente se muestra una comparación entre los rendimientos obtenidos en el tratamiento Eolos con los rendimientos promedio de la unidad de Olericultura extensiva de la EAP (Cuadro 19).

Cuadro 18. Rendimientos obtenidos por el efecto del riego por tratamiento en la EAP, Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Volumen de agua utilizado (m ³ /100 m ²)	Rendimiento Promedio (kg/100 m ²)
iDEal 100%	3.19	98.50 a ^{&}
GoPin 80%	2.55	100.00 a
Eolos 60%	1.92	102.50 a
Coeficiente de variación (%)		7.65

[&] Medias con diferentes letras en columnas difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$).

iDEal 100%: cinta iDEal con micro tubos, aplicando el 100% del volumen de la evapotranspiración del cultivo, GoPin 80%: manguera Diconsa con gotero pinchado regulable, aplicando el 80% del volumen de la evapotranspiración del cultivo, Eolos 60%: cinta Eurodrip Eolos Compact, aplicando el 60% del volumen de la evapotranspiración del cultivo.

Cuadro 19. Comparación de producción de lechuga, variedad Escarola en la unidad experimental con el lateral Eurodrip Eolos Compact, y la unidad de Olericultura de la EAP, Zamorano, Honduras.

Área de producción	Plantas/ 100 m²	Plantas/m²	kg/lechuga	kg/100 m²	kg/m²
UE Eolos 60%	460.00	4.60	0.22	102.50	1.03
Olericultura	1,012.00	10.12	0.13	131.56	1.32

UE: Unidad experimental, Eolos 60%: cinta Eurodrip Eolos Compact, aplicando 60% del volumen de la evapotranspiración del cultivo.

4. CONCLUSIONES

- Todos los tratamientos presentaron variaciones significativas, respecto al caudal nominal, siendo iDEal 100% el que tuvo una menor variación.
- Eolos 60% fue el que tuvo un mejor comportamiento en coeficiente de uniformidad en casi todo el estudio y fue el único que presentó un coeficiente de uniformidad mayor a lo recomendado. Eolos 60% presentó coeficientes de uniformidad constantes entre semanas en casi todo el estudio, mientras que iDEal 100% no y con tendencia a la baja. GoPin 80% tuvo coeficientes de uniformidad constantes, pero inaceptables.
- Con Eolos 60% se aplicó un menor volumen de agua y no se encontró diferencia en el rendimiento.
- En general, el lateral que mejor comportamiento tuvo, tomando en cuenta el coeficiente de uniformidad y rendimientos, fue Eolos 60%.

5. RECOMENDACIONES

- Evaluar diferentes marcas de laterales de riego por goteo convencionales de baja descarga y prolongar al menos a diez semanas el estudio.
- Hacer un estudio en el que se cumpla el principio de asocio de cultivos, utilizando doble lateral de riego Eurodrip Eolos Compact por cada cama y de igual forma evaluar rendimientos.
- Evaluar mayores densidades de siembra en el cultivo de lechuga escarola bajo el enfoque biointensivo y utilizando el lateral de riego Eurodrip Eolos Compact.
- Hacer un mantenimiento semanal de las cintas de riego por goteo con cloro (10 g de hipoclorito de calcio) en los últimos 30 minutos de riego (Briceño *et al.* 2012) para evitar la acumulación de algas en los emisores.
- Hacer un método de decantación en la fuente de agua para mejorar la calidad del agua que entra al sistema de riego por goteo y así disminuir la variación del caudal en el sistema de riego, causado por la obstrucción de los emisores.

6. LITERATURA CITADA

Andrango, R y A. Castro. 2012. Manual del Huerto Familiar con Enfoque Biointensivo®. Programa Manejo Integrado de Plagas en América Central. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. 68 p.

Briceño, M., F. Álvarez y U. Barahona. 2012. Manual Técnico de riego con énfasis en riego por goteo. Programa de Manejo Integrado de Plagas en América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. p 91-94.

Eurodrip. s.f. Eolos Compact Specifications. 2 p.

Garay, E. 2012. Guía práctica para la instalación y mantenimiento de sistemas de riego por goteo de baja presión. Honduras. p 3-4.

Hoch Flores, A.F. 2008. Determinación del coeficiente hídrico del cultivo (Kc) para la lechuga variedad Verónica en los meses de mayo a julio en condiciones de El Zamorano, Honduras. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 31 p.

IDE. s.f. Technical Manual for IDEal Micro Irrigation Systems. 33 p.

Plasgot. 2014. Sistemas de riego (en línea). Consultado 15 de octubre de 2015. Disponible en: <http://www.plasgot.com/Archivos/Plasgot-2014.pdf>

Salcedo, F., R. Barrios., M. Garcia y M. Váldez. 2005. UDO Agrícola. Distribución de agua en un sistema de microaspersión sobre un ultisol cultivado con lima Tahití en el estado Monagas, Venezuela. p 88-95.

SAS® Institute Inc. (2013). SAS 9.3 TS.

Tarjuelo, J.M. 1990. El riego por aspersión y su tecnología. S.A. MUNDI-PRENSA LIBROS. España. Segunda ed. 569 p.

Williams Chavarria, G.M. 2011. Evaluación de la uniformidad de un sistema de riego por goteo de baja presión. Tesis Ing .Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 24 p.

Valverde, J.C. 1998. Riego y drenaje. Ed. Universidad estatal a distancia. San José, Costa Rica. p 62.

7. ANEXOS

Anexo 1. Elaboración de cama biointensiva con doble excavado, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras.



Anexo 2. Riego del lateral iDEal con micro tubos, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras.



Anexo 3. Riego del lateral Diconsa con gotero pinchado regulable, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras.



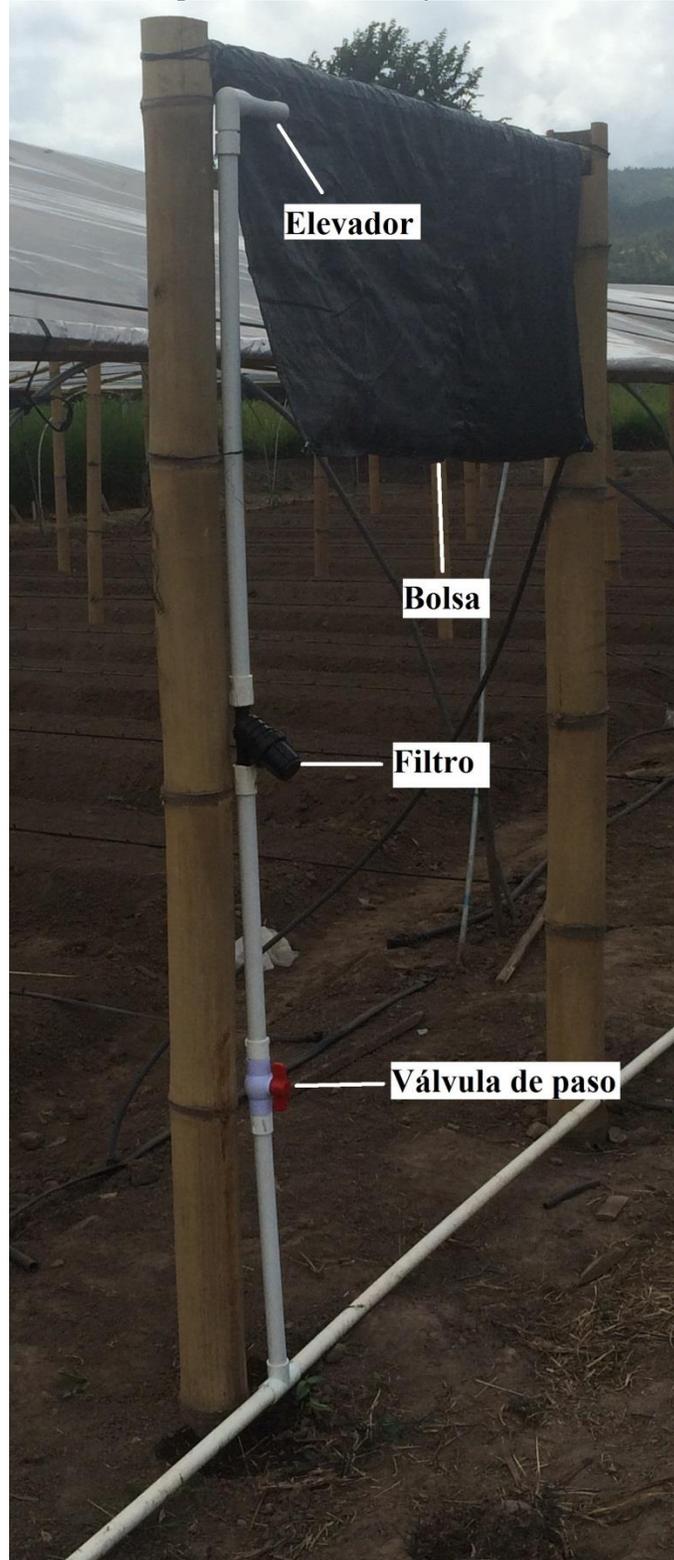
Anexo 4. Riego del lateral Eurodrip Eolos Compact, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras.



Anexo 5. Medición de volúmenes aforados, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras.



Anexo 6. Sistema de alimentación y almacenamiento de cada unidad experimental, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras.



Anexo 7. Bulbo de humedad con el lateral de riego iDEal con micro tubos, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras.



Anexo 8. Bulbo de humedad con el lateral de riego Diconsa con gotero pinchado regulable, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras.



Anexo 9. Bulbo de humedad con el lateral de riego Eurodrip Eolos Compact, en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas, EAP, Zamorano, Honduras.

