



SISTEMA DE RIEGO DE BAJO COSTE CON MICROTUBOS. DISEÑO Y EVALUACIÓN

Sáenz Pisaca, D. (1); Marzol Jaén, M^a Victoria. (2); Reguengo Álvarez, I. (3)

¹ Profesor, Universidad de La Laguna, Departamento de Ingeniería Agraria, Náutica, Civil y Marítima, dsaenzpi@ull.edu.es

² Profesora, Universidad de La Laguna, Departamento de Geografía e Historia, mmarzol@ull.edu.es

³ Ingeniero Técnico Agrícola, israelreguengo@gmail.com

1 Resumen

En esta comunicación se presenta la experiencia adquirida en el diseño de una instalación de riego de bajo coste en el que el emisor elegido fue el microtubo, que tiene un aceptable comportamiento hidráulico, es económico y de fácil instalación. Se determinan en laboratorio los parámetros hidráulicos del emisor, de las tuberías y de los accesorios. Se realiza un diseño inicial que se va optimizando después de las evaluaciones realizadas en campo. La superficie que puede regar el sistema propuesto es de 400 m² y su costo de aproximadamente 0,16 € por emisor. Se plantea la posibilidad de utilizar tuberías procedentes de material de riego reciclado. También se aborda la implementación del sistema de riego con un equipo de bombeo solar para el llenado de los depósitos. Se concluye con que la viabilidad del diseño propuesto estará condicionada a la disponibilidad de los materiales necesarios en el lugar donde se instale.

2 Introducción

Una gran parte de la población de los países en vías de desarrollo, unos 800 millones, padecen desnutrición crónica (FAO, 2014). En estas condiciones, la necesidad de garantizar los requerimientos básicos de la población se hace indispensable.

Los esfuerzos para conseguir una seguridad alimentaria pasan por el aumento de su productividad agraria. Esta estrategia se ve aún más justificada cuando en algunos países, cada 15 años, se reduce a la mitad el tamaño medio de las parcelas agrícolas debido al rápido crecimiento de su población (Postel et al., 2001).

El acceso de comunidades pobres al agua de riego y la posibilidad de utilizar ese agua para aumentar la productividad de sus cultivos es la vía que permitiría aumentar sus ingresos económicos y garantizar su autonomía alimentaria. En regiones con largas temporadas secas, las parcelas en regadío llegan a duplicar la producción anual respecto a las de secano (Postel et al., 2001).

La implantación del riego por goteo en muchos de estos lugares ha aumentado aún más la productividad agrícola. Ésta es una de las razones por las que en las dos últimas décadas del siglo pasado la superficie mundial bajo este tipo de riego se multiplicó por cincuenta, aunque dicha superficie al final de ese período solo significaba el 1% de la total de regadío.

Los sistemas de riego por goteo convencionales se han mostrado inadecuados para adaptarse a las condiciones de muchas regiones del globo donde las pequeñas dimensiones

de las explotaciones agrarias, la pobreza de la población y su escasa formación técnica, hacen inviables estas instalaciones.

Los elevados requerimientos energéticos, el excesivo coste, y la complejidad de manejo y mantenimiento de los sistemas de riego por goteo convencionales, han hecho decidirse a Organizaciones No Gubernamentales e Institutos Tecnológicos a desarrollar sistemas de goteo de pequeña dimensión adaptados a las condiciones de muchos países de Asia, África y América Latina. Un ejemplo lo constituye la ONG "International Development Enterprises" (IDE) que lleva varias décadas trabajando en el diseño, producción y distribución de tecnología de riego de bajo coste para las comunidades agrarias desfavorecidas.

El objetivo de la experiencia que se expone en esta comunicación es el diseñar una instalación de riego de bajo coste que permita regar eficientemente un huerto de proporciones tales que garantice la seguridad alimentaria de una pequeña comunidad rural.

3 Diseño, evaluación y mejora de un sistema de riego de bajo coste

3.1 Diseño del sistema de bajo coste

La primera aproximación de los autores de esta comunicación al estudio de los riegos de bajo coste fue a través de la realización y dirección del trabajo fin de carrera de Ingeniería Técnica Agrícola titulado "Diseño de una Instalación de Riego Localizado de bajo coste, utilizando tuberías fabricadas con material reutilizado". Además del diseño de una instalación que permitía regar una parcela de 430 m² con unos componentes muy económicos, se estudió la posibilidad de utilizar las tuberías de polietileno desechadas en explotaciones agrarias de la Isla de Tenerife para volver a fabricar nuevas tuberías. Esta propuesta tenía dos objetivos, contribuir a resolver un problema medioambiental, eliminando los residuos de tuberías abandonadas y diseminadas por las áreas rurales de la geografía insular y utilizar las nuevas tuberías como un componente de los sistemas de riego estudiados.

En una experiencia piloto se recolectaron las tuberías desechadas procedentes de tres fincas del Sur de Tenerife, se trocearon, se lavaron y se fabricaron nuevas tuberías. Se realizaron ensayos para comprobar su calidad. El de resistencia a la presión hidráulica interna se llevó a cabo en el laboratorio de la E.T.S.I.A. de La Laguna sometiendo a tres probetas de cada finca a una presión hidráulica de 5,5 bar (550 kPa) durante tres horas sin detectar pérdidas ni deformaciones. No obstante, hay que considerar que de ser utilizadas en estos sistemas de riego, estarían sometidas a cargas hidráulicas muy bajas.

En el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (I.M.I.D.A) se realizaron los siguientes ensayos: Control dimensional: UNE 53367 (00), Negro de Carbono: UNE 53375 (83), Grado de dispersión del Negro de Carbono: UNE 53131 (90), Resistencia al Alargamiento a la Rotura: UNE EN ISO 6259 (97), Comportamiento al Calor: UNE 53131 (90), Resistencia al Cuarteamiento por tensiones en medio activo: UNE 53367 (00). Analizando los resultados, todas las tuberías objeto del ensayo cumplieron con las prescripciones de las normas mencionadas, a excepción del material proveniente de una de las fincas que tenía un contenido en Negro de Humo ligeramente por debajo del mínimo exigido ($1,70\% < 2-2,5\%$).

Por todo ello se concluyó que estas tuberías podrían ser consideradas aptas para su utilización en instalaciones de riego de bajo coste.

Los componentes del primer diseño estudiado consistían en un depósito de PVC con tapa de 1000 l de capacidad, una estructura de 2 m de altura compuesta por capas sucesivas de palets de madera y bloques huecos de hormigón, un filtro de malla plástico ϕ 1¼", dos válvulas de esfera, tubería principal y secundaria de PEBD 32mm-0,4 MPa, tuberías laterales de PEBD 16 mm-0,25 MPa y microtubos de 30 cm, de diámetro interno 1,5 mm.

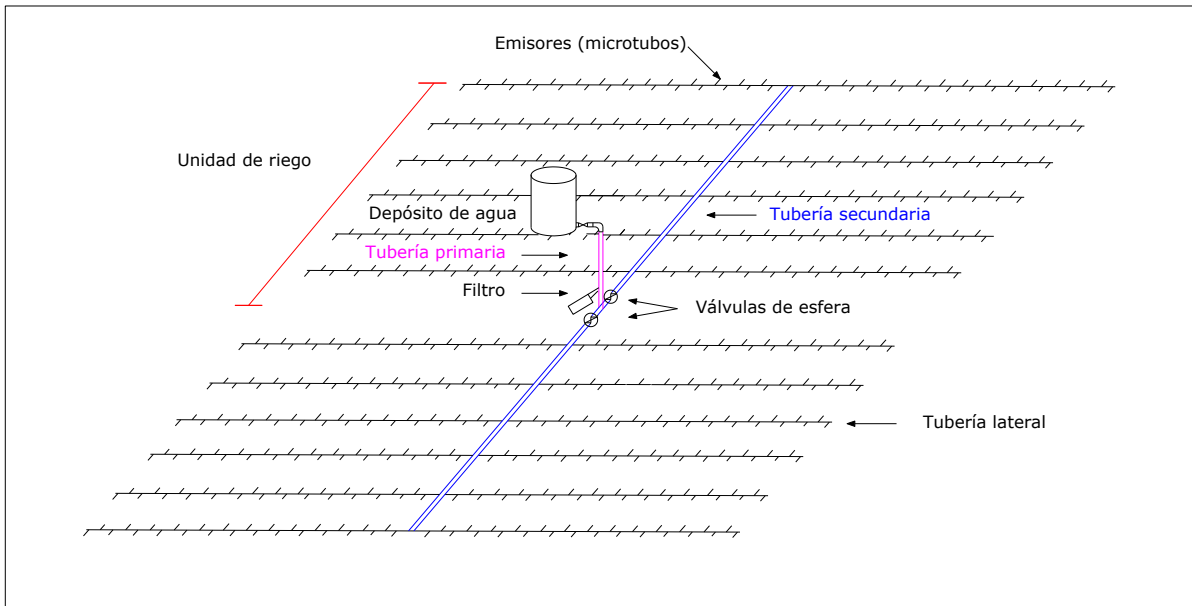


Figura 1. Croquis de la instalación.

Las pruebas realizadas para conocer el funcionamiento hidráulico de la instalación se realizaron en el laboratorio de hidráulica de la ETSIA de La Laguna. Para ello se instalaron dos piezómetros de 3 m de altura que permitían apreciar una variación de 2 mm de columna de agua. La determinación del Coeficiente de Variación de caudales (CV) se realizó con 25 emisores trabajando con una altura de presión de 1 m (presión media aproximada de trabajo). Este coeficiente integra la variación de la longitud del microtubo debido a la imprecisión en el corte y la propia variación de fabricación del mismo (ovalización y variación del diámetro interior). El primer coeficiente resultó 0,007 (0,7%) mientras que el global fue de 0,028 (2,8%). Este resultado le confiere la categoría A, según la norma ISO 9261, y excelente según la norma ASAE EP.405.1 del US Soil Conservation Service.



Foto 2. Ensayo para la determinación del Coeficiente de Variación de caudal de los microtubos.

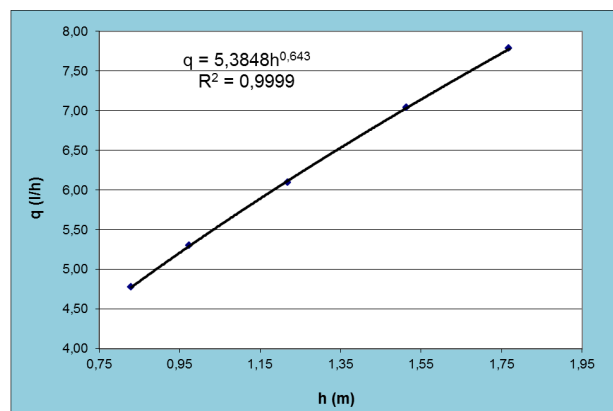


Figura 2. Curva caudal (q)-altura de presión (h) del microtubo ($D_i=1,5$ mm, $l=30$ cm).

La curva caudal-presión se determinó con alturas comprendidas entre 0,83 y 1,77 m. El exponente de descarga obtenido (0,643) es aceptable para el fin al que se le destina, y se

encuentra dentro del intervalo de valores citados por Rodrigo (1997). El caudal resultaría muy alto (23,66 l/h) si trabajáramos con presiones normales para riego localizado (100 kPa≈10 mca), pero moderado si la presión de trabajo se sitúa en torno a 1mca (5,38 l/h).

La pérdida de carga en conexión de los microtubos se determinó insertando diez de ellos 2 cm en un tramo de tubería de PEBD 16 (13,6) de 2 m de longitud (distancia entre tomas piezométricas). Circulando un caudal estimado al medio de un lateral, se midió la diferencia de altura entre ambos piezómetros con la tubería lisa (sin microtubos) y con los microtubos insertados y previamente doblados en sus extremos para anular las descargas. La pérdida de carga obtenida de cada conexión fue de 0,17 metros de longitud equivalente (mle) de tubería.

El mismo procedimiento se siguió para determinar las pérdidas de carga de las conexiones de los laterales a lo largo de una tubería principal de PEBD 32 (28,0), resultando 0,48 mle.

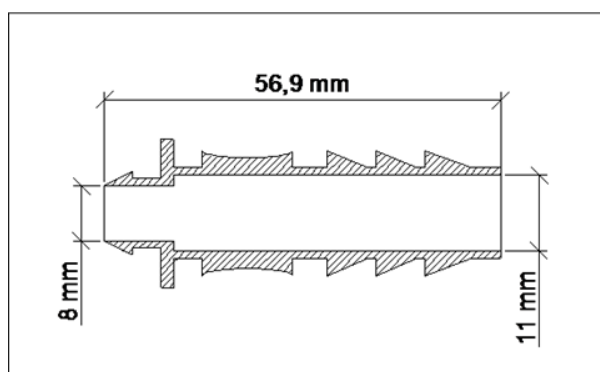


Foto 3. Acometidas insertadas en la tubería. **Figura 3.** Sección acotada de la acometida.

Por último se determinó la expresión de pérdida de carga en la derivación del flujo desde la tubería secundaria ($D_i=28$ mm) a la tubería lateral ($D_i=13,6$ mm), siguiendo la metodología propuesta por De Paco (1992). Para ello se instalaron dos tomas piezométricas, una en la tubería principal, justo antes de introducirse el agua en el lateral y otra a su entrada. Se hicieron pasar diferentes caudales por ambas tuberías obteniendo un amplio número de combinaciones de velocidades V_p, V_d . Ajustados los valores de K_d a una ecuación polinómica de segundo grado se obtiene la ecuación para el cálculo de éste y de la pérdida de carga en la acometida (Δh_s).

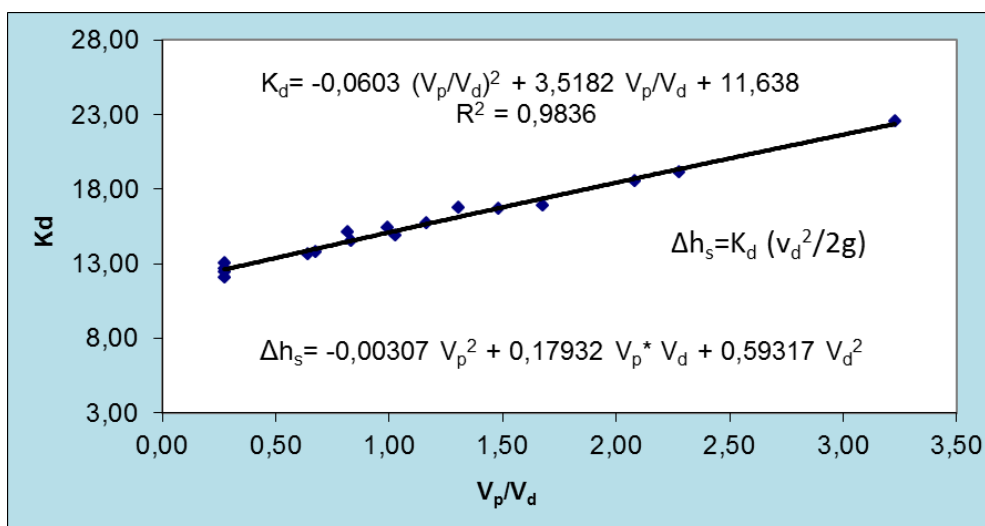


Figura 4. Coeficiente de pérdida de carga de la acometida del lateral de riego (Kd).

v_p (m/s): velocidad en la tubería principal y v_d (m/s): velocidad en la derivación.

Con los resultados obtenidos se elaboró una hoja Excel para el cálculo del coeficiente de uniformidad de diseño (CU) adoptado por el Soil Conservation Service de USA y también por la American Society of Agricultural Engineers.

$$CU = 100 \cdot \left(\frac{1-1,27 \cdot CV}{\sqrt{e}} \right) \cdot \frac{q_n}{q_a} = 100 \cdot \left(\frac{1-1,27 \cdot CV}{\sqrt{e}} \right) \cdot \frac{k \cdot h_n^x}{k \cdot h_a^x} \quad (1)$$

La hoja calcula la presión mínima de la instalación (h_n) y la presión media (h_a). Se introducen los valores del coeficiente de variación del emisor (CV) y el número de emisores que dan agua a una misma planta (e). También han de incluirse la longitud del lateral y de la tubería secundaria, la separación entre emisores y laterales, así como la altura del depósito.

Al final del tanteo para conseguir un determinado CU, alcanzamos varias soluciones con distintas combinaciones de la longitud del lateral y la longitud de la tubería secundaria. Se escogerá la que resulte más económica si no existe otro condicionante.

Con los materiales escogidos, situando el depósito a una altura de 2,1 m, y separando los microtubos a 0,25 m y los laterales a 1,50 m, se obtuvieron las alternativas contempladas en la tabla 1, eligiendo la opción 3 y 8 para un CU del 80 y 90%, respectivamente.

Tabla 1. Resultados del dimensionamiento de la instalación con un coeficiente de uniformidad de diseño de 80 y 90%.

Opción	CU	Longitud de lateral (m)	Longitud de secundaria (m)	Superficie contando con una unidad operacional de riego (m ²)	Superficie contando con dos unidades operacionales de riego (m ²)
1	80%	9,25	12,00	222	444
2		10,50	10,50	220,5	441
3		12,00	9,00	216	432
4		14,00	7,50	210	420
5		16,50	6,00	198	396
6	90%	7,50	12,00	180	360
7		8,75	10,50	184	368
8		10,25	9,00	189	378
9		12,00	7,50	180	360
10		14,00	6,00	168	336

Para validar el diseño se montó una instalación en los campos experimentales de la ETSIA de La Laguna, realizando un cultivo asociado de hortalizas (calabazas, judías verdes, maíz, pimientos, tomates y lechugas).

Se determinó el Coeficiente de Uniformidad de aplicación siguiendo el protocolo propuesto por Merriam y Keller (1978). Para la instalación dimensionada con un CU de diseño del 80% se obtuvo un CU de aplicación del 83%. Para la de un CU de diseño del 90%, el CU de aplicación fue del 92%. Era de esperar que los CU de aplicación fueran algo

superior a los de diseño ya que, en pleno rigor, el h_n de la ecuación (1) debería corresponder a la presión media del 25% de los emisores de caudal más bajo y no a la presión mínima absoluta, que es con la que se trabaja en la hoja de cálculo.

También se instalaron piezómetros para medir las alturas de presión en distintas partes de la instalación como se puede observar en la foto 4.



Foto 4. Determinación del Coeficiente de Uniformidad de aplicación.

Se realizó una comparativa de los precios de los kits de riego de bajo coste existentes en el mercado en el año 2009. Los resultados se expresan en la tabla 2.

Tabla 2. Características y precios de los kits de riego de bajo coste.

Nombre del kit	Empresa	País (donde se comercializa)	Precio (\$)	nº de emisores	Coste/punto de emisión (\$)
Bucket kit	IDE*	varios	5	26	0,192
Family Nutrition kit (Bag)	IDE	India	5	33	0,150
Napalese System	IDE	Nepal	20	160	0,125
Bucket kit	Chapin Living Waters	varios	22,5	200	0,112
Drum kit	IDE	India	25	200	0,125
Family Drip System (sin depósito)	Netafim	varios	240	1500	0,160
Minitank (500 l)	IDE	Kenia	280	1600	0,175
RBC (ULL) (sin depósito)	ULL**	-	192	1152	0,166

*IDE (International Development Enterprises).

**ULL (Universidad de La Laguna).

3.2 Evaluación del sistema de bajo coste en la provincia de Saint Louis (Senegal)

En el año 2010 la Dirección General de Relaciones con África concedió la financiación del proyecto titulado “Evaluación de un sistema de Riego de Bajo Coste y capacitación agrícola de una Comunidad Rural desfavorecida en Senegal”. Este proyecto lo realizó la Universidad de La Laguna en colaboración con la Universidad Gaston Berger de Senegal. En noviembre de dicho año se seleccionaron las localidades para ubicar los kits de riego que iban a ser evaluados. Éstas fueron la Comunidad Rural de Khor (próxima a la ciudad de St. Louis), la Comunidad Rural de Minguenne, y los Campos Experimentales de la Universidad Gaston Berger (St. Louis). En las comunidades rurales mencionadas se constituyeron grupos de mujeres que iban a recibir una formación agraria, a instalar los equipos de riego y a llevar a cabo un cultivo de hortalizas. Se pretendía usar las instalaciones diseñadas para conocer sus fortalezas y debilidades en aquellas condiciones. Se plantaron nabos (*Raphanus sativus*), berengenas (*Solanum melongena*), berengenas africanas (*Solanum aethiopicum*) y pimientos picantes (*Capsicum anuum*).

De acuerdo con la especie cultivada se eligieron los marcos de plantación y, en consecuencia, se establecieron diferentes distanciamientos entre los microtubos y entre los laterales de riego. En el caso de las berengenas y pimientos se les asignó un emisor por planta y los microtubos se dispusieron alternativamente hacia un lado y otro del lateral regando líneas de plantas pareadas. En el caso de los nabos los microtubos se distribuyeron de la misma manera pero asignando un emisor para cada dos plantas, formando por tanto, cuatro líneas de plantación entre los pasillos.

Los cultivos se desarrollaron entre abril y julio de 2011. Las condiciones fueron de alta demanda evapotranspirativa y se estableció un intervalo de riego inicial de dos días, y cuando las plantas alcanzaron un moderado crecimiento se procedió al riego diario.

Se determinó el CU de aplicación cuando se montaron las instalaciones y al final de la campaña de cultivo, obteniendo en todos los casos los valores esperados (en torno al 85%).

De la experiencia realizada se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Fortalezas del sistema de riego:

- Sencillez del montaje
- Facilidad de manejo
- Adecuada uniformidad de riego (la esperada en la fase de diseño)

Debilidades del sistema de riego:

- Sistema de sujeción del microtubo muy laborioso⁽¹⁾
- Depósito inadecuado (proliferación de algas en su interior)⁽²⁾
- Estructura inadecuada (deterioro de los bloques prefabricados)⁽³⁾
- Sistema de llenado del depósito costoso⁽⁴⁾

(1) La fórmula empleada para sujetar el microtubo próximo al cuello de la planta fue propuesta por los agricultores. Consistió en la fabricación de una horquilla de alambre que se arrollaba al emisor y se clavaba en el suelo. Funcionó correctamente, aunque no deja de ser una solución laboriosa.

(2) Los depósitos utilizados fueron adquiridos en una industria azucarera situada a unas decenas de kilómetros de los huertos. Eran del tipo Ecobulk de 1000 l de capacidad que habían sido adquiridos por la compañía con materia prima y que, una vez vacíos, y ante su gran demanda, revendían a precios abusivos (100 €). Además, el

hecho de estar fabricados con polietileno blanco favorecía que la luz se trasluciera en su interior contribuyendo a la proliferación de algas.

- (3) Los bloques que se fabricaban en la zona eran de muy mala calidad, debido principalmente a la baja calidad de los áridos, deteriorándose rápidamente a la intemperie. En una de las instalaciones se tuvieron que sustituir por bloques nuevos que se fabricaron in situ.
- (4) A pesar de que en una de las comunidades se contó con una instalación solar para el bombeo del agua desde un reservorio próximo al huerto, ésta dejó de funcionar al cabo de dos meses debido a la baja calidad de la bomba utilizada y a la falta de protección eléctrica. Para el llenado de los depósitos de todas las instalaciones se adquirieron motobombas de gasolina que supusieron un costo de 200 € cada una.

3.3 Mejora del sistema y posterior evaluación

Para procurar soslayar los problemas de los sistemas evaluados en Senegal, se implementaron soluciones a los mismos. Las medidas correctoras se centraron en resolver las debilidades mencionadas en el apartado anterior.

En relación con el primer problema, se introdujo casi la totalidad del microtubo en la tubería lateral, dejando apenas 2 cm al exterior. Con ello, la emisión se producía sobre la tubería como si se tratase de un emisor estándar. Para evitar que el chorro de agua que éstos emitían se proyectara a una cierta distancia del lateral y con una trayectoria incontrolable, se insertó en su extremo una anilla de PE Ø 16mm que interceptaba el chorro. El problema que en principio podía plantear esta modificación era el aumento de la pérdida de carga en conexión de los aproximadamente 28 cm de microtubo que quedaban en el interior de la tubería. Después de realizar las pruebas en el laboratorio se comprobó que éstas aumentaban ligeramente, pasando de 0,17 mle de tubería lateral con una inserción de 2 cm, a 0,25 mle con una inserción de 28 cm.

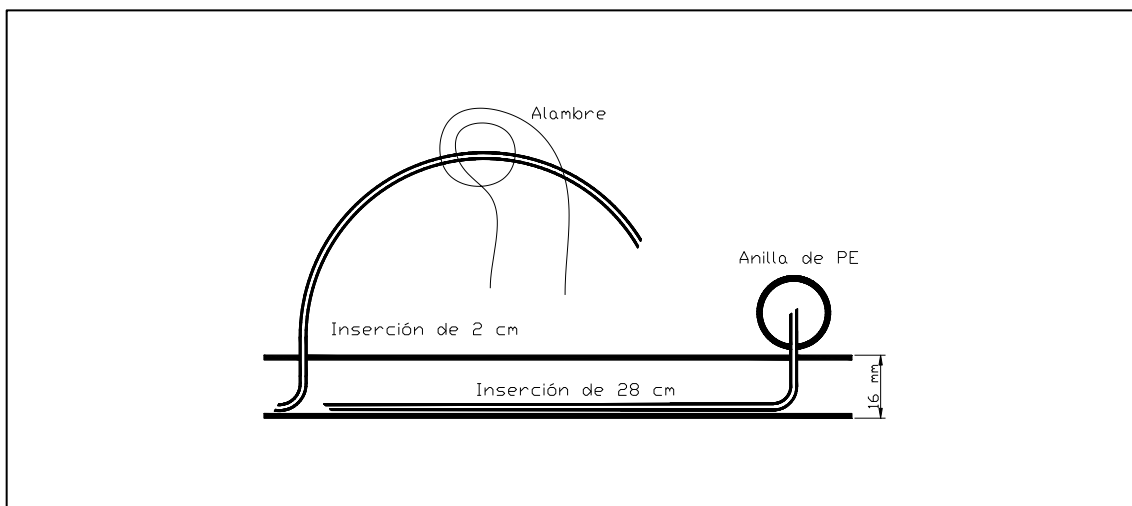


Figura 5. Disposición inicial (inserción de 2 cm) y final (inserción de 28 cm).

En la evaluación del sistema mejorado que se realizó en los campos experimentales de la ETSIA de La Laguna se utilizó un depósito Ecobulk de color blanco como los utilizados en Senegal. Para evitar la proliferación de algas bastó con forrarlo con una malla negra tipo “antihierba”. Cuando no se disponga de depósitos de material opaco, ésta puede ser una solución efectiva porque además protege al material del envejecimiento que provocan las radiaciones ultravioletas del espectro solar.

Otra mejora que se llevó a cabo fue el diseño de una estructura metálica para elevar el depósito. Su cimentación está compuesta por cuatro dados de hormigón de 0,5 x 0,5 x 0,4

m que garantizan la estabilidad del sistema frente a vientos de 120 km/h con el depósito vacío (hipótesis más desfavorable). La estructura tipo mecano está formada por perfiles angulares de acero galvanizado de 40 x 4 mm. Las uniones están realizadas con tornillos pasantes de alta resistencia. El arriostramiento de la estructura se resuelve con cruces de San Andrés de alambre galvanizado \varnothing 3,5 mm y sus correspondientes tensores. El costo del material necesario para la fabricación de la estructura (incluyendo el hormigón) es de aproximadamente 90 €.



Foto 5. Estructura de elevación del depósito.



Foto 6. Depósito cubierto con malla negra.



Foto 7. Detalle del punto de emisión.

La última mejora consistió en un sistema autónomo para la elevación del agua al depósito. El sistema está compuesto por un panel solar monocristalino de $W_p=95$ W y $V_{mp}=18$ V, estructura metálica para el soporte e inclinación del panel, bomba sumergible de corriente continua, sin escobillas, de 43,3 W (12V) capaz de elevar el agua hasta una altura máxima de 8 m, prefiltro de malla para alojar en su interior la bomba y dispositivo electrónico para la protección de la misma. Este último incluye un regulador de tensión a 12V y un comparador de doble ventana que tiene como misión desconectar el funcionamiento de la bomba cuando la tensión baje de 9V y vuelva a conectarla cuando la tensión alcance los 12V. Este sistema se encuentra en la actualidad en fase de prueba. El costo de todos los materiales descritos asciende aproximadamente a 350€.

4 Conclusiones

El sistema de riego de bajo coste, diseñado en la ETSIA de La Laguna, tiene como objetivo conseguir regar una superficie lo suficientemente grande que logre garantizar la autonomía alimentaria de una pequeña comunidad de un país en vías de desarrollo. La sostenibilidad del sistema se sustenta en la sencillez de su diseño. Los emisores, en este caso microtubos, son muy baratos y los puede elaborar, instalar y mantener el propio agricultor. El resto del sistema puede ser también manejado y conservado fácilmente.

Con el correcto uso y diseño de la red de tuberías, la uniformidad de riego puede llegar a ser alta. Como todos los sistemas de riego de bajo coste, el consumo energético es reducido, ya que se requiere elevar el agua a muy poca altura.

Una labor que debería ser incentivada en los países desarrollados es la de reciclar las mangueras de riego para fabricar nuevas tuberías que pudieran formar parte de los sistemas de riego de bajo coste.



Debido al alto precio de los depósitos nuevos y al coste de su transporte, sería deseable que éstos fueran adquiridos en los países donde fueran a ser utilizados. Por el contrario, las tuberías y resto de accesorios podrían ser en un principio fabricados en países con un mayor desarrollo tecnológico y exportados a través de organizaciones sin ánimo de lucro. Para que estas iniciativas llegaran a tener el impacto deseado debería desarrollarse paralelamente un plan de formación de los agricultores que fueran a hacer uso de estas instalaciones.

Si en las fincas no se dispone de un suministro de agua por gravedad, su elevación para el llenado de los depósitos puede suponer que estas instalaciones de riego no resulten tan económicas.

En último término, debe ser el técnico que se encuentre a pie de campo quien valore la viabilidad del sistema y su optimización en cada caso.

5 Bibliografía

ASAE EP.405.1 (1999). Design and Installation of Microirrigation Systems Standards of ASAE, St. Joseph, Michigan.

De Paco, J.L. (1992). Fundamentos del cálculo hidráulico en los sistemas de riego y drenaje. Centro Nacional de Tecnología de Regadíos (CENTER). IRYDA. Mundi-prensa. 398 p.

FAO (United Nations Food and Agriculture Organization). (2014). The State of Food Insecurity in the World. Rome, Italy.

Merriam J.L. y Keller J. (1978). Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Utah State University. Logan Utah. 271 p.

Postel, S.; P. Polak.; F. González y J. Keller. (2001). Drip Irrigation for Small Farmers. A New Initiative to Alleviate Hunger and Poverty. *International Water*, 1(26): 3-13.

Rodrigo López, J.; Hernández Abreu, J.M.; Pérez Regalado, A. y González Hernández, J.F. 1997. Riego localizado. CENTER. YRYDA. 2ª edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 399 p.

UNE 53375. (1983). Plásticos. Determinación del contenido en negro de carbono en poliolefinas y sus transformados. Parte 1: Ensayo en atmósfera de nitrógeno. Asociación Española de Normalización (AENOR). Madrid, España.

UNE 53131.(1990).Sistemas de canalización en materiales plásticos para conducción de agua. Polietileno (PE). Parte 2: Tubos. Asociación Española de Normalización (AENOR). Madrid, España.

UNE 53367. (2000). Plásticos. Tubos de polietileno PE32 y PE40 para microirrigación. Características y métodos de ensayo. Asociación Española de Normalización (AENOR). Madrid, España.

UNE-EN ISO 6259-1:2002. Tubos termoplásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 1: Método general de ensayo (ISO 6259-1:1997). Asociación Española de Normalización (AENOR). Madrid, España.

UNE-EN ISO 9261:2010. Equipos de riego. Emisores y tuberías emisoras. Especificaciones y métodos de ensayo (ISO 9261:2004). Asociación Española de Normalización (AENOR). Madrid, España.