

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN DE BAJA PLUVIOSIDAD COMO RESULTADO DE LA APLICACIÓN DE LA EXTENSIÓN COMO SOPORTE TÉCNICO

F. Cisneros, E. Pacheco T.

Programa para el Manejo del Agua y del Suelo (PROMAS)
Universidad de Cuenca, Ecuador
fcisnero@ucuenca.edu.ec

J. Feyen

Department of Land Management and Economics
Faculty of Bioscience Engineering
Katholieke Universiteit Leuven, Belgium

Resumen: La poca disponibilidad de agua, la baja productividad y la escasez de mano de obra son las principales razones que han motivado una propuesta de adaptación del sistema de riego por aspersión de baja pluviosidad y bajo costo en terreros de altas pendientes. Pasar del riego tradicional por surco a riego por aspersión, significa un enorme cambio tecnológico. La introducción de nuevas tecnologías sin acompañamiento de capacitación a menudo no logra los resultados que podrían ser obtenidos de aplicarse bajo condiciones óptimas. Los sistemas de riego por aspersión de baja pluviosidad adaptados a condiciones de montaña, aunque son simples en su configuración física, son complicados para los agricultores en cuestión de manejo. Los principales aspectos relacionados con el manejo del riego presentan dificultades como: la programación del riego en momentos adecuados en la etapa de crecimiento; la correcta determinación de la duración del riego; la definición adecuada de espaciamiento entre aspersores y correcta manipulación para lograr un buen posicionamiento de los mismos.

En este artículo se evalúa el efecto que tiene el soporte técnico en el manejo de los sistemas de riego por aspersión en zonas de montaña. La evaluación de la intervención se efectuó mediante la caracterización y determinación de: i) la uniformidad aplicación de agua de riego, ii) la cantidad de agua efectivamente almacenada en el perfil del suelo, iii) la eficiencia de aplicación, iv) las pérdidas de agua por infiltración profunda y v) las pérdidas adicionales por escorrentía superficial y por evaporación directa. Los sistemas fueron probados en una primera fase, sin intervención técnica; y en dos fases adicionales luego de que los agricultores recibieran el entrenamiento y soporte técnico de un programa de capacitación. La evaluación reveló que a medida de que se lleva a cabo el entrenamiento, el rendimiento de los sistemas de riego mejora considerablemente, lo cual ilustra que si las tecnologías simples son acompañadas por un apoyo adecuado en formación, resultarán en el uso correcto del recurso agua, lo que conducirá en última instancia a una mejor producción.

INTRODUCCIÓN

La agricultura en los Andes se enmarca en sistemas de baja entrada y baja salida, produciendo principalmente para autoconsumo y permitiendo que tan solo una pequeña fracción de la cosecha pueda ser comercializada. La inversión en fertilizantes y la mecanización es escasa o nula. La mayoría de los agricultores utilizan la tracción animal y energía generada manualmen-

te para cultivar la tierra. Los agricultores no tienen un control en la cantidad de agua entregada al suelo, ni en la cantidad de agua que se pierde por infiltración profunda. De esta manera, el riego se conduce de forma empírica y presenta valores muy bajos de uniformidad y eficiencia de aplicación (Cisneros, 2002). El Programa para el Manejo del Agua y del Suelo PROMAS Universidad de Cuenca, inició con la ayuda financiera del Banco Interamericano de Desarrollo BID, un

Proyecto que tuvo como objetivo dar soluciones técnicas a los métodos de riego empleados de forma tradicional. El reemplazo del sistema tradicional del surco con un sistema de riego de baja precipitación permitió establecer como hipótesis: (a) el agua sería utilizada más eficientemente, (b) el agua sería distribuida más uniformemente, y (c) la productividad y producción agrícola sería mejorada. Se ha identificado que el uso ineficaz de los recursos de agua y las dificultades para el incremento en la productividad obedecen a: bajo nivel de capacitación de gran parte de los agricultores, bajo rendimiento del riego por surcos de contorno tradicional, y falta de tecnificación. Considerando primordial que información adecuada sea desarrollada y distribuida de una manera que sea entendible a los usuarios (Hasan *et al.*, 1993) se planteó posteriormente la necesidad de efectuar la transferencia de los resultados obtenidos, a través del proyecto VLIR-OI "Participative technological innovation for sustainable management of natural resources" lo cual permite en el presente documento exponer la problemática existente en el proceso de traspaso de la tecnología de riego por aspersión de baja precipitación en terrenos de montaña mediante un programa de apoyo a los agricultores.

Tomando en cuenta que de manera general, las instituciones donde se desarrolla investigación, tienen una pobre relación con los organismos de extensión (FAO, 1984), habiendo sido éste, el problema más serio detectado para el avance de programas de investigación para el desarrollo y de extensión, las preguntas de la investigación, que forman la base de este manuscrito, giran en torno a evaluar la manera en que los agricultores adoptan nueva tecnología y cómo el proceso participativo asiste a los mismos

en la mejor utilización del recurso hídrico y de la tecnología. Los extensionistas miran a la investigación como un trabajo aislado que no genera tecnología apropiada para los agricultores, mientras que los investigadores se plantean muchos cuestionamientos respecto a la capacidad de la extensión para un trabajo eficiente (Quimsumbing, 1984).

El objetivo del presente trabajo es evaluar el rendimiento de sistemas de riego por aspersión de baja pluviosidad con la aplicación de un programa de extensión como soporte técnico a los agricultores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Siendo el desafío para la investigación, el lograr combinar adaptaciones de diseño a las difíciles condiciones físicas y de manejo en montaña, que puedan ser adoptadas fácilmente por los usuarios, no se ha llevado la investigación sobre la base del paradigma tradicionalmente empleado en el mundo desarrollado donde el trabajo se efectúa en las universidades y posteriormente se transfiere mediante extensión (Tollefson, 1992). Se ha establecido que debe ocurrir un cambio de la visión jerárquica, que es identificada por los agricultores como elitista, a una visión participativa en la cual agricultores, investigadores y extensionistas trabajen juntos (Watkins, 1990).

La investigación se desarrolló en Nabón al sur del Ecuador en tres sitios denominados: La Playa, Las Nieves y Rañas. Las pendientes de los sitios varían de 16 % a 32 %, clasificándose como muy escarpados a escarpados. Los suelos son arcillosos, el horizonte superior es poco profundo y presenta macroporos y grietas, especialmente cuando está seco. Las características de los 3 sitios, se resumen en la Tabla 1.

Parámetro	Unidad	La Playa	Las Nieves	Rañas
Pendiente	%	31	16	28
Tipo de suelo		Regosol	Vertisol	Vertisol
Altura del suelo	m	0.20	0.41	0.38
Densidad aparente	g cm ⁻³	1.38	1.26	1.39
Capacidad de campo	volumen %	30.60	35.30	39.80
Punto de marchitez	volumen %	16.00	21.10	20.50
Coefficiente de infiltración básica (horizonte superior)	mm h ⁻¹	58.00	12.70	8.60
Coefficiente de infiltración básica (horizonte inferior)	mm h ⁻¹	8.7	4.2	3.8
Cultivo		Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa
Profundidad de raíces	m	0.25-0.40	0.30	0.35

Tabla 1. Características del suelo en los sitios de experimentación

Pendiente (%)	0-5	5-8	8-12	12-16	16-20	20-24	24-28	> 28
Textura del suelo y perfil	Intensidad máxima de aplicación (mm h ⁻¹)							
Arena gruesa 1.8 m	50	38	25	13	10	9.6	9.4	8.9
Arena gruesa sobre suelos más compactos	38	25	19	10	9.6	9.4	8.9	5.2
Arena limosa 1.8 m	25	20	15	10	8.9	7.4	5.2	3.3
Arena limosa sobre suelo compacto	19	13	10	8	7.4	5.2	3.3	1.4
Arena limosa 1.8 m	13	10	8	5	3.3	1.5	1.4	1.2
Arena limosa sobre suelos más compactos	8	6	4	2.5	1.5	1.4	1.2	0.4
Suelos pesados arcillosos o arcilloso limoso	4	2.5	2	1.5	1.4	1.2	0.4	0.2

Tabla 2. Máxima intensidad de aplicación en función del tipo de suelo, y pendiente del terreno

La velocidad de infiltración básica, medida utilizando la prueba del infiltrómetro de doble anillo, alcanza valores medios para la capa superior que va de 8,6 a 58 mmh⁻¹. Los suelos de los sitios de prueba en La Playa y Rañas tienen densidad aparente muy similar, sin embargo son diferentes en su comportamiento hidráulico. Los suelos en Rañas poseen una capacidad más alta de retención de agua con drenaje interno pobre.

La Tabla 2 presenta la complementación hecha a la tabla que fuera en un principio desarrollada únicamente para pendientes de terreno hasta 12 % (Keller y Bliesner, 1990). La versión extendida desarrollada por Cisneros (2002), fue tomada como referencia para la definición de sistemas de riego por aspersión de baja pluviosidad. El prototipo experimental adoptado consistió en un sistema de riego por aspersión de baja pluviosidad con tubería de PVC de 32mm. Se utilizaron aspersores de impacto para jardinería de giro completo y parcial con boquillas de 2,8 mm de diámetro. Las bajas intensidades fueron obtenidas ajustando el patrón de riego, espaciamento entre los aspersores, y modificando la presión en la boquilla del aspersor a fin de lograr un sistema que se acople al tipo de suelo y condiciones de pendiente. Para el sistema se diseñó presiones de 200kPa (La Playa) y 300 kPa (Las Nieves y Rañas) mientras que para las boquillas se mantuvo presiones constantes mediante reguladores de presión con lo cual se permitió caudales en el rango de 0,08 l/s a 0,1 l/s.

Los criterios utilizados para caracterizar el uso apropiado de la tecnología se constituyen en indicadores del rendimiento del riego, los cuales para su cálculo requieren del monitoreo en campo durante cada evento. Considerando las bajas eficiencias de riego en montañas encontradas para la zona (Cisneros, 2004) y a fin de que se obtengan los mayores rendimientos de riego con aspersión para las condiciones señaladas, se consideró las siguientes estrategias: i) Reducir

las pérdidas de evaporación y en boquillas de los aspersores, ii) Incrementar la uniformidad a fin de reducir pérdidas por infiltración profunda, iii) Reducir escorrentía superficial considerando las características de infiltración de los suelos, iv) Utilizar información de lluvia durante el período de cultivo.

Se realizó la evaluación de operación de los sistemas de aspersión para establecer la evolución del rendimiento de riego con énfasis a uniformidad de riego, eficiencia y porcentaje de superficie adecuadamente irrigada.

El proceso participativo para asistencia técnica se desarrolló en tres fases. En una primera fase, luego de la instalación del sistema y sin capacitación a los agricultores, se evaluó el rendimiento de al menos un evento de riego. En una segunda fase, para instrucción, de acuerdo con los resultados obtenidos, los agricultores fueron informados sobre el rendimiento del sistema y recibieron acompañamiento técnico en los eventos futuros. Finalmente, luego de ser llevada la fase de instrucción y acompañamiento, una tercera fase de evaluación fue realizada durante la cual el funcionamiento de los sistemas fue medido una vez más. El esquema planteado permitió recoger y trabajar con la información generada inicialmente con los usuarios, esta retroalimentación fue incluida en la fase de la instrucción. Los datos que se recogieron durante las tres fases fueron utilizados para reconstruir la evolución de indicadores del funcionamiento como una función de la ayuda en formación entregada a los agricultores.

Para la evaluación en campo, durante cada evento de riego, pluviómetros con apertura circular igualmente espaciados fueron colocadas de manera que cubrían el área limitada por 3 (tres bolillo) o 4 (en cuadro) aspersores con un promedio de 1 recipiente por metro cuadrado, en un área de 12m por 12m (Merriam y Keller, 1978; Keller y Bliesner, 1990; Merkley y Allen, 2003).

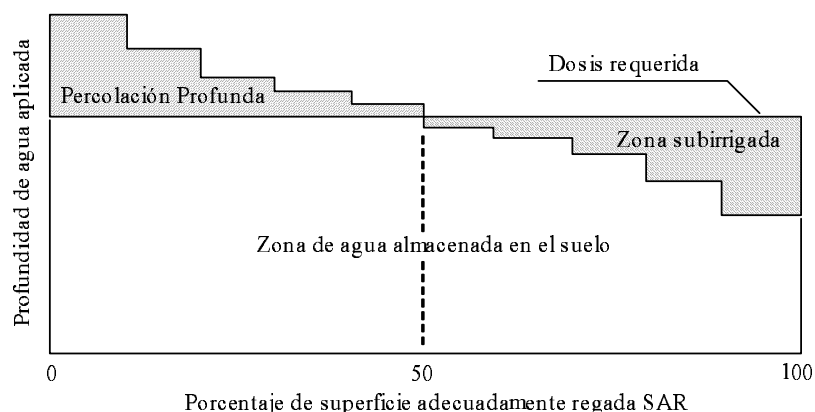


Figura 1. Distribución de agua en el suelo para SAR = 50 % (Adaptado de Cuenca, 1989)

En la fase 1, era el agricultor quien decidía el momento del riego y la duración del evento. Los recipientes fueron retirados después del riego y el volumen de agua recogido fue traducido a lámina de agua. El agua en los recipientes permitió determinar la lámina de agua infiltrada en el suelo y la uniformidad de riego mediante el coeficiente de uniformidad (CU) de Christiansen (1942) definido como:

$$CU(\%) = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^N |Z_i - Z_a|}{N Z_a} \right] \quad (1)$$

donde CU es el coeficiente de uniformidad de Christiansen, Z_i es la altura de agua recogida por cada pluviómetro, Z_a es la altura media de agua recogida en el total de los pluviómetros y N es el número total de pluviómetros que intervienen en la evaluación.

Mediante el seguimiento de la cantidad de agua infiltrada en el suelo y la medición de la cantidad de agua entregada en el evento de riego, se determinó tanto la superficie adecuadamente regada (SAR), así como la percolación profunda (PP). Para ello se estableció la comparación del agua infiltrada en el suelo con el requerimiento establecido en función de la humedad actual medida antes de cada evento. La superficie adecuadamente regada (Cuenca, 1989), se define como el porcentaje de la superficie que recibió al menos la dosis requerida como se indica en la Figura 1.

La superficie que no recibe la dosis requerida conforma la superficie subirrigada. El agua aplicada que supera la dosis establecida o requerida se traduce en percolación profunda (PP) que fue

establecida mediante la siguiente definición:

$$PP(\%) = 100 \left[\frac{Z_a - Z_{req}}{Z_a} \right] \quad (2)$$

donde Z_{req} es la dosis de riego requerida.

La relación entre la cantidad de agua almacenada con eficacia en la zona de raíces y la cantidad total de agua aplicada en el riego considerando los usos y pérdidas en el balance de agua (Bos *et al.*, 1993) nos entrega la eficiencia de aplicación (EA), calculada sobre la superficie adecuadamente irrigada (Cuenca, 1989) con la siguiente definición:

$$EA(\%) = \frac{\text{requerimiento de agua establecido}}{\text{agua entregada al suelo}} \quad (3)$$

La diferencia entre el balance de agua almacenada en el perfil del suelo y la altura bruta del agua aplicada fue considerada como una medida global para las pérdidas adicionales debidas a la escorrentía superficial y la evaporación directa durante el evento del riego (PEE).

El número de pruebas por sitio no fue constante y más bien fue incrementándose durante el desarrollo de la investigación (fase 1 a 3) consecuencia de lo cual, no se aplicó un análisis ANOVA a los datos recogidos. Tal análisis permitiría identificar el efecto de la localización y del agricultor en los indicadores del funcionamiento. Por consiguiente el análisis se limitó a una interpretación cualitativa de los indicadores del riego por localización (La Playa, Las Nieves y Rañas) y por la fase (fase 1, 2 y 3).

Realizando el análisis para cada indicador se puede establecer un promedio del rendimiento de las pruebas en las fases 1, 2 y 3. Este análisis permitió verificar si los indicadores del funcionamiento son afectados por la localización. De

igual manera, todos los datos recopilados por fase fueron agrupados y utilizados para calcular el promedio y la desviación estándar. Este análisis fue conducido para verificar si ocurrió una evolución en los indicadores del rendimiento en función del entrenamiento proporcionado entre las intervenciones sucesivas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los indicadores calculados para el rendimiento de riego en cada fase se presentan en la Tabla 3 (La Playa), Tabla 4 (Las Nieves) y Tabla 5 (Rañas). Se indican los valores calculados para los indicadores: CU, SAR, EA, PP, PEE, y

los valores promedio y desviación estándar del parámetro correspondiente. El promedio del indicador y la desviación estándar se calculan para todas las pruebas realizadas en las fases 1, 2 y 3. En La Playa un total de 5 pruebas fueron conducidas, respectivamente 1 prueba durante la primera fase, 2 pruebas durante la segunda y tercera fase. En Las Nieves un total de 6 pruebas fueron conducidas, 1 prueba durante la primera fase, 2 pruebas durante la segunda fase y 3 durante la tercera fase. Un total de 7 pruebas fueron realizadas en Rañas, 1 prueba durante la primera fase, 2 pruebas durante la segunda fase y 4 pruebas durante la tercera fase.

Fase	Ensayo	CU %	SAR %	EA %	PP %	PEE %
1	Playa 1	81,90	54,86	89,63	9,69	0,68
2	Playa 2	72,90	35,94	78,57	0,00	21,43
2	Playa 3	72,20	63,56	77,67	19,58	2,75
3	Playa 4	86,40	84,72	77,34	18,53	4,13
3	Playa 5	86,00	87,50	75,79	20,41	3,80
PROMEDIO:		79,88	65,32	79,80	13,64	6,56
DESVIACION ESTANDAR:		6,92	21,48	5,59	8,75	8,42

Tabla 3. Resultados de la evaluación de riego para La Playa

Fase	Ensayo	CU %	SAR %	EA %	PP %	PEE %
1	Nieves 1	65,00	44,00	75,68	0,00	24,32
2	Nieves 2	76,90	6,67	67,57	0,00	32,50
2	Nieves 3	76,90	10,22	94,64	0,00	5,36
3	Nieves 4	73,80	32,44	95,00	0,00	5,00
3	Nieves 5	88,40	65,28	81,98	8,18	9,84
3	Nieves 6	83,20	70,83	73,60	12,40	14,00
PROMEDIO:		77,37	38,24	81,40	3,43	15,17
DESVIACION ESTANDAR:		8,03	26,99	11,38	5,48	11,08

Tabla 4. Resultados de la evaluación de riego para Las Nieves

Fase	Ensayo	CU %	SAR %	EA %	PP %	PEE %
1	Rañas 1	24,30	54,94	43,53	21,18	35,29
2	Rañas 2	44,00	23,56	75,00	0,00	25,00
2	Rañas 3	83,40	17,36	93,65	0,00	6,35
3	Rañas 4	67,00	69,22	77,04	20,41	2,55
3	Rañas 5	83,40	56,25	71,84	6,93	21,23
3	Rañas 6	88,00	70,37	60,44	7,09	32,47
3	Rañas 7	83,00	74,31	70,17	13,87	15,95
PROMEDIO:		67,59	51,29	70,24	9,92	19,84
DESVIACION ESTANDAR:		24,45	22,26	15,43	8,81	12,41

Tabla 5. Resultados de la evaluación de riego para Rañas

Los datos en las tablas 3, 4 y 5 fueron utilizados como base para la construcción de las Figuras 2 a 6 que indican para cada uno de los parámetros el valor promedio por cada fase de observación con su desviación estándar correspondiente (fases 1, 2 y 3, respectivamente). Esas

figuras representan la tendencia en los valores medios de los indicadores y la evolución en función de la introducción de un servicio de formación al regante en la implementación y manejo del sistema de riego.

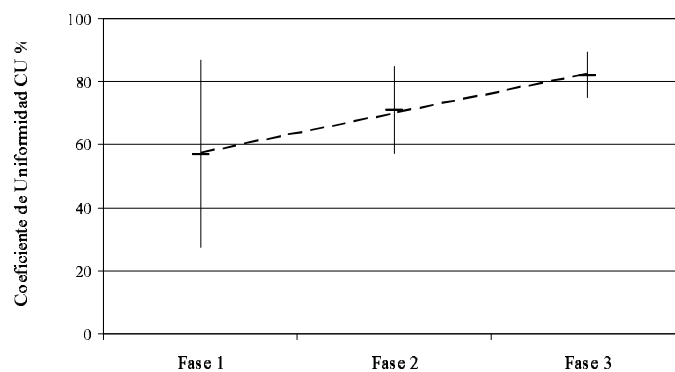


Figura 2. Promedio de Coeficiente de Uniformidad CU en las fases de evaluación

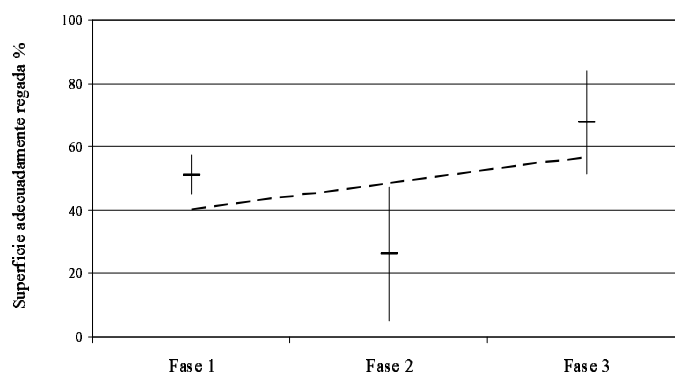


Figura 3. Promedio de Superficie Adecuadamente Regada en las fases de evaluación (SAR)

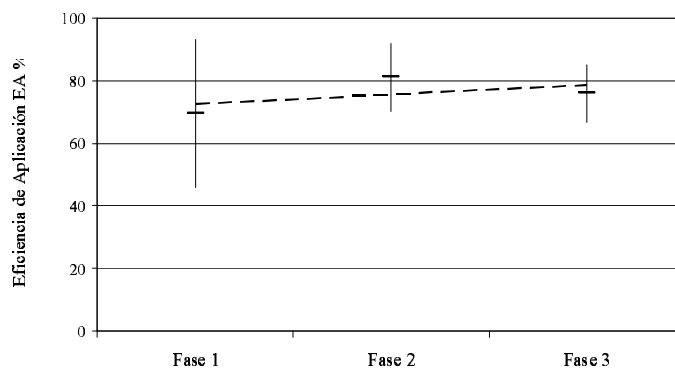


Figura 4. Promedio de la Eficiencia de Aplicación en las fases de evaluación (EA)

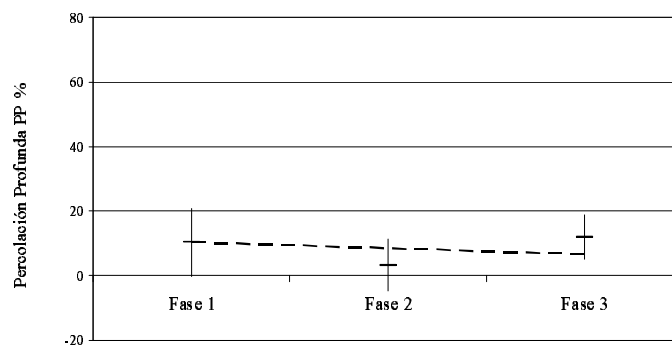


Figura 5. Promedio Percolación Profunda en las fases de evaluación (PP)

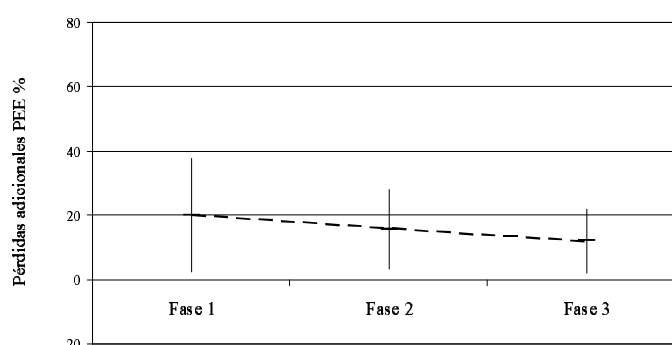


Figura 6. Promedio de Pérdidas adicionales en las fases de evaluación (PEE)

Aunque el número de casos por localización es pequeño [La Playa (5 casos), Las Nieves (6) y Rañas (7)] los datos recogidos durante los eventos de riego en los 18 casos revelan que los agricultores de La Playa en promedio riegan mejor que en los demás sitios de ensayo. Presentando tanto para CU y para EA valores promedio de alrededor de 80 % con una relativa estrecha franja entre los extremos. Las pérdidas alcanzan el 21 %; correspondiente a filtración profunda 14 %, escurrimiento superficial y evaporación directa 7 %. La variabilidad en pérdidas es mucho más alta que la variabilidad en CU y EA debido a una duración demasiado corta del evento del riego; SAR en promedio fue igual a 65 %.

Los ensayos para el sistema de riego por aspersión probado en Las Nieves revelan que el rendimiento en sus prácticas fue mucho más cercano a los resultados derivados de los probados en La Playa. Los valores de la CU (77 %) y de EA (81 %) son muy semejantes. Las pérdidas por percolación profunda son considerablemente más pequeñas (3 %), mientras que las otras pérdidas (PEE) son mucho más grandes (15 %). El rango de PP y de PEE está en el mismo orden

de magnitud que el encontrado en La Playa. El porcentaje para SAR está en promedio mucho más pequeño que los valores encontrados en La Playa, con un valor medio de 38 %.

En base del rendimiento de las pruebas realizadas en Rañas se establece que CU (68 %) y EA (70 %) son considerablemente más bajos que en los otros dos sitios, indicando que el rendimiento del riego en las parcelas de Rañas es menos favorable. Para PP y PEE tenemos el mismo orden de magnitud, y SAR (51 %) se sitúa en un valor medio entre lo encontrado para La Playa y Las Nieves. La variabilidad más grande de los indicadores de Rañas sugiere que el equipo y la manera como el agricultor ha realizado la operación varía considerablemente de operador a operador.

Durante la fase 2 se entrenó a los agricultores en la manera en que se podría mejorar el funcionamiento del sistema. Para lograr mejoras en uniformidad se hicieron revisiones del diseño de los sistemas de manera especial en lo que atiende a espaciamiento de los aspersores. Para disminuir pérdidas se trabajó en aspectos de manejo de los sistemas de manera especial en

lo que se refiere a tiempos de aplicación. De esta manera para La Playa se obtuvo importantes mejoras en superficie adecuadamente regada con un incremento de 2 horas en el tiempo de riego. Para Las Nieves se logró un importante incremento en uniformidad mediante la disminución de 3 metros en espaciamiento entre aspersores, y se disminuyó considerablemente las pérdidas realizando operaciones de riego en horas sin viento. Para Rañas, se disminuyó espaciamiento de posicionamiento de aspersores en el orden de 3 metros para mejorar aspectos de uniformidad y se redujo el tiempo de aplicación en aproximadamente 2,5 horas.

Para cuantificar si ocurrió una evolución positiva en la operación de sistema las Figuras 2 a la 6 fueron construidas. Estas figuras representan sobre los diversos sitios la evolución de CU y de los indicadores del riego, SAR, EA, PP y PEE a partir de la fase 1 a la 3. En esas figuras el valor de los indicadores del riego fue agrupado sobre los sitios, La Playa, Las Nieves y Rañas. En la figura 1 se entrega la evolución en las 3 fases de CU. La figura revela que aumentó, de 57 % a 82 %, y que la fluctuación entre los valores extremos bajos y altos alrededor del promedio disminuye lo que indica que la formación al agricultor contribuye a una mejora general de la uniformidad de distribución.

En la Figura 3 se puede ver que los valores para SAR disminuyen a partir de la fase 1 a 2, pero con el entrenamiento de los agricultores aumentó afortunadamente a un valor medio de 67 % en la fase final. La eficiencia de aplicación EA demuestra la misma tendencia que CU, aunque el nivel de la mejora entre la primera y tercera fase es menos notorio que la mejora observada para CU. La PP no cambió entre la fase 1 a 3 pero tuvo una variación que estuvo alrededor 7 % como promedio, con algunas fluctuaciones de menor importancia. El parámetro de pérdidas adicionales por escorrentía y evaporación PEE disminuyó linealmente desde la fase 1 a 3, con un promedio del 4 % de fase a fase.

CONCLUSIONES

La mejora de la mayoría de los indicadores del riego entre la fase 1 y 3 indica que el apoyo entregado tuvo un impacto positivo en el funcionamiento total del riego. Esta tendencia no fue visible tan explícitamente para el indicador de SAR. Los agricultores todavía necesitan mejorar las condiciones para lograr una superficie adecuadamente regada mayor, lo que significa que la duración del evento de riego necesita ser

revisada. Un entrenamiento adicional en este aspecto necesita todavía ser proporcionado.

Hay una tendencia a subirrigar, lo cual puede ser debido a que los agricultores por las características de la cosecha disponen de un tiempo limitado de acceso al agua de riego. Para reducir la variabilidad en las observaciones se recomienda aumentar el número de pruebas por localización, y aumentar el número de observaciones en el tiempo, por ejemplo aumentar el número de fases. Además, se aconseja fuertemente incrementar los entrenamientos y las discusiones en sitio con los agricultores.

Desafortunadamente no ha sido posible establecer si la intervención ha tenido como efecto mejoras en la producción, para lo cual sería necesario conducir la misma investigación durante todos los eventos del riego en el ciclo de cultivo además de medir el incremento de la producción resultante. La investigación establece que la formación al agricultor contribuyó a una mejora general del funcionamiento del riego, y que mayor entrenamiento de una manera más sistemática mejorará aún más el rendimiento del sistema.

Un cambio a gran escala del sistema de riego superficial tradicional a un sistema de riego por aspersión de baja pluviosidad dará lugar a un uso más racional de los recursos de agua locales, y contribuirá a una reducción del peligro de pérdida de suelo y deslizamientos de tierra. En resumen no es exagerado señalar que el uso del riego por aspersión de baja pluviosidad contribuirá a la conservación de los recursos locales de la tierra y de agua.

AGRADECIMIENTOS

Los autores están agradecidos por la ayuda financiera dada por el proyecto VLIR-OI "Participative technological innovation for sustainable management of natural resources" sin el cual no habría sido factible conducir esta investigación. Además los autores agradecen a los agricultores que participaron en la investigación ya que hicieron posible este trabajo.

REFERENCIAS

- Bos, M.G., Murray-Rust, D.H., Merrey, D.J., Johnson, H.G. and Snellen, W.B. (1993). Methodologies for Assessing Performance of Irrigation and Drainage Management. Paper for Workshop of the Working Group on Irrigation and Drainage Performance - International Commission on Irrigation and Drainage.

- Christiansen, J.E., (1942). Irrigation by sprinkling. University of California, Agricultural Experimental Station Bulletin, 670, 124 pp.
- Cisneros, F., Torres, P., Feyen, J., (2004), Derivation of Sprinkler Application Rate for Steep Sloping Fields, ASCE American Society of Civil Engineers.
- Cisneros, F., (2002). Mountain irrigation: performance assessment and introduction of new concepts to improve the water distribution at field level. PhD-dissertation, Faculty of Bioscience Engineering, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium.
- Cuenca, R. H. (1989). Irrigation system design: an engineering approach. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey USA. pp 258-263.
- FAO. (1984). Agricultural Extension: A Reference Manual. 2nd edition. FAO, Rome.
- World Bank. 1985. Agriculture Research and Extension: An evaluation of the World Bank's experience. Washington, D.C. pp. 3-100.
- Hasan, R., Tollefson, L., El Gindi, A. and Moustafa, A. (1993). Country and Subregional action programme - Egypt. In: International Action Programme on Water and Sustainable Agricultural Development. FAO, Rome. pp. 1-37.
- Keller, J., and Bliesner, R.D. (1990). Sprinkle and trickle irrigation. Van Nostrand Reinhold, New York, NY. 652 pp.
- Merkley, G.P., and Allen, R.G. (2003). Sprinkle and trickle irrigation lecture notes (BIE 5110/6110). Dept. of Biological and Irrig. Engrg., Utah State Univ., Logan, UT. 249 pp.
- Merriam, J.L., and Keller, J. (1978). Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Dept. of Biological and Irrig. Engrg., Utah State Univ., Logan, UT. 271 pp.
- Quimsumbing, E. (1984). New direction in research-extension linkages. In: Planning and Management of Agricultural Research. D. Elz (ed.). A World Bank and ISNAR Symposium. Washington, D.C.: World Bank.
- Tollefson, L. (1992). Field Stations in Canada. Serving the Greater Public. Symposium, North Dakota State University. pp. 1-10.
- Watkins, G. (1990). Participatory Research: A Farmer's Perspective. American Journal of Alternative Agriculture 5 (4): 160-163.