**SUELO Y AGUA**
***SOIL AND WATER***

**ARTÍCULO ORIGINAL**

# Riego por surco con caudal intermitente asociado al cultivo de la cebolla y su eficiencia en las pérdidas de suelo y agua por escorrentía

## *Surge flow associated to the cultivation of the onion and their efficiency in the floor losses and it dilutes for surface*

MSc. Manuel Rodríguez González[I], Dr.C. Martín Santana Sotolongo[I], Dr.C. Oscar Brown Manrique[II], Ing. Freddy Alonso de la Paz[III]

[I] Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Sancti Spiritus, Sancti Spiritus, Cuba.
[II] Universidad de Ciego de Ávila, Centro de Estudios de Riego y Drenaje, Ciego de Ávila, Cuba.
[III] Cooperativa de Créditos y Servicios "Ramón Pando Ferrer", Comunidad Banao, Sancti Spiritus, Cuba.

**RESUMEN.** Con el objetivo de evaluar la efectividad del riego intermitente y compararlo con de flujo continuo asociado al cultivo de la cebolla, en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado (Nitisol ródico-éutrico) se determinó: la lámina escurrimiento, las pérdidas de suelo y la eficiencia de aplicación en el área efectiva de cada tratamiento. El experimento se realizó con un diseño en franja que obedece a la naturaleza del estudio, con dos tratamientos de 15 surcos cada uno con la presencia de un testigo. Los resultados indican que la mayor lámina escurrida como promedio la alcanzó el tratamiento de flujo continuo con pérdidas de 2,87 $L \cdot m^{-2}$ que supera 2,7 veces al tratamiento de riego intermitente 1,01 $L \cdot m^{-2}$ regados. Las mayores pérdidas de suelo por escorrentía la alcanzó el tratamiento testigo que supera 4,9 veces al testigo con pérdidas de 24,6 kg/riego existiendo diferencias significativas entre los dos tratamientos en ese momento y bajo esas condiciones. El riego intermitente permite aumentar la eficiencia del riego de aplicación en un 23% con un 77,2% del volumen de agua aplicado por el tratamiento testigo. Con la técnica de riego intermitente se puede se mejorar los indicadores técnicos y productivos de la actividad del riego superficial

***Palabra clave:*** riego intermitente, parcela de escurrimiento, erosión hídrica.

**ABSTRACT.** With the objective of to evaluate the effectiveness of the surge flow and to compare it with of continuous flow associated of the onion crops, in floor leached red ferriferous (Nitisol ródico-éutrico) determining the surface glide, the intensity and the lost of floor in the effective area of each treatment. The experiment was carried out with a design in fringe that obeys the nature of the study, with two treatments of 15 furrows each variant with the presence of a witness. The results indicate that the biggest sheet been slippery as average reached it the treatment of continuous flow with losses of 2,87 $L \cdot m^{-2}$ that overcomes in 2,7 times to the parcel of surge flow. The biggest floor losses reached it the treatment witness that overcomes 4,9 times to the witness with losses of 24,6 kg for watering existing significant differences among the two treatments in that moment and under those conditions. The surge flow allows to increase the efficiency of the application watering in 23% with 77,2% of the volume of water applied by the treatment witness. With the technique of surge flow you can improve the technical and productive indicators of the activity of the surface watering.

***Key words:*** Surge flow, glide parcel, surface watering.

## INTRODUCCIÓN

Las condiciones actuales de la economía cubana imponen la necesidad de encontrar medidas que conduzcan al incremento de la eficiencia en los sistemas de riego superficial (Brown *et al*., 2003). A pesar de ser estos sistemas los más utilizados en el mundo, su eficiencia de aplicación y uniformidad de distribución son comúnmente muy bajas (Santana, 2007).

Se ha demostrado que una vía para el mejoramiento de este método de riego es la técnica de riego intermitente (*Surge*

*Flow)*. Técnica que fue desarrollada en los Estados Unidos para el control del agua de riego (Rodríguez y Santana, 2003). El riego intermitente utiliza un efecto natural que tienen todos los suelos en mayor o menor medida, cuando una vez mojado, se retira el agua y se deja "descansar" por un corto tiempo, de esa forma, el agua recorre el surco en varios ciclos discontinuos. La explicación del fenómeno en está técnica de riego se debe a que entre un ciclo y otro se produce un disgregamiento de los agregados del suelo que favorece el reordenamiento de los terrones del surco y una migración de sedimentos que origina un aislamiento de la superficie y el agua del próximo ciclo avanza en forma más rápida sobre la tierra húmeda (Nalvarte y Huachos, 2007).

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto del riego intermitente en las pérdidas de agua y suelo por escorrentía una de las principales causas de ineficiencias del riego superficial.

## MÉTODOS

La investigación se desarrolló durante la campaña 2010-2011 en la comunidad Banao provincia de Sancti Spíritus sobre un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, típico (Hernández *et al*.; 1999). La pendiente longitudinal 1,5%. Se empleó un diseño experimental en franjas con dos tratamientos (A: riego continuo y B: riego intermitente) con 15 surcos de 30 m de largo, su empleo obedece a la naturaleza de los estudios, con un marco de plantación para el cultivo de la cebolla de 0,45 x 0,08 m, los surcos triangulares con taludes próximo a 45º, las observaciones se realizaron el área efectiva de cada parcela. La intermitencia se logró de forma automatizada con el uso de la válvula FLUCON DN150. El tiempo de cada ciclo de riego fue de 2 min y se dejaron 3 min entre cada ciclo de riego para mejorar el efecto de permeabilidad del suelo.

### Parámetros de diseño y evaluación

Los parámetros de diseño y evaluación se obtuvieron durante el riego. Se determinó el escurrimiento superficial y las pérdidas de suelo a partir del procedimiento recomendado por Betancourt *et al*. (2004) y Carolina *et al*. (2009), a partir de una parcela de escurrimiento diseñada para colectar los volúmenes de agua y suelo escurrido. También se estimaron la Lámina escurrida (Le), la producción de sedimentos (As) y la Eficiencia de Aplicación (EAP) según Rodríguez *et al*. (2011).

$$Le = \frac{\text{Veo}}{\text{A}}$$

$$As = Veo \cdot Ps$$

$$EAP = \frac{V_{IAl}}{V_{Aplicada}}.100$$

Donde *Le*: Lámina escurrida ($m^3 \cdot ha^{-1}$); $V_{eo}$: Volumen de agua escurrida ($m^3$); A: Área del lote de escurrimiento (ha); $A_s$: Producción del sedimento ($kg \cdot m^{-3}$); *Ps*: Peso del sedimento (kg); *Veo*: Volumen de agua escurrida ($m^3$); $V_{IAL}$: Volumen de agua infiltrada y almacenada; $V_{Aplicada}$: Volumen de agua aplicada. Las variables evaluadas se analizaron estadísticamente con el programa SPSS 11.5.

## RESULTADO Y DISCUSIÓN

La parcela de escurrimiento diseña y evaluada consiste en un registro para colectar los volúmenes de suelo y agua escurrido construida al final del surco, dichas parcelas, colecta el agua y el sedimento del área efectiva de cada parcela. Como se muestra en la tabla 1 la mayor pérdida de la lámina escurrida promedio la alcanzó el tratamiento A con un valor de 2,87 $L \cdot m^{-2}$ regado, que supera 2,7 veces al tratamiento donde se utilizó el riego intermitente. En el tratamiento B que difiere significativamente del otro tratamiento el nivel de pérdida que alcanzó 1,01 $L \cdot m^{-2}$ regados.

**Tabla 1. Lámina escurrida ($m^3 \cdot ha^{-1}$)**

| Trat. | Números de riego | | | | | | | Media ± S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| A | 29,7 | 28,2 | 27,9 | 29,2 | 28,5 | 27,9 | 27,6 | 28,4 ± 1,18 b |
| B | 15,7 | 13,8 | 10,8 | 9,17 | 8,9 | 8,59 | 8,59 | 10,8 ± 1,57 a |
| CV % | | | | | | | | 12, 8 |

Letras no comunes en cada tratamiento difieren según la prueba de *Mann-Whitney*.

En la Figura 1 se ilustra el porcentaje que representó las pérdidas de agua a partir de la división de las pérdidas por escorrentía (PE) y la norma aplicada que osciló entre 60 – 90 $m^3 \cdot ha^{-1}$. Se destaca el tratamiento B que difiere significativamente del método tradicional y representa 1,78 veces menor pérdida como promedio.

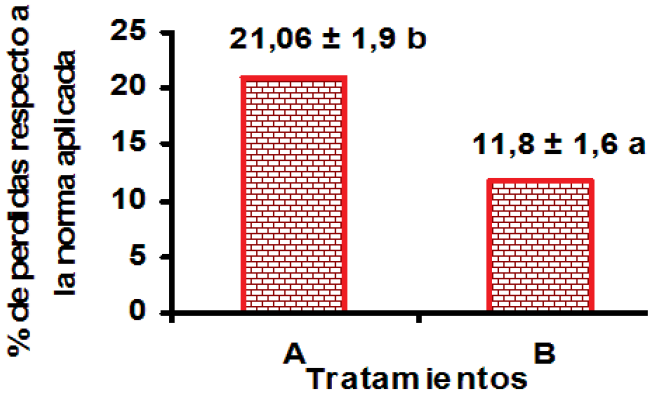


FIGURA 1. Porcentaje que representa la lámina escurrida de la norma aplicada.

A partir del análisis de estimación curvilínea (regresión) entre las variables lámina escurrida y tiempo de avance en la unidad experimental, se pudo definir que el modelo que más se ajusta es el lineal con tendencia creciente. El coeficiente de correlación 0,93 y un incremento de la lámina escurrida de 0,0601 $m^3.ha^{-1}$ por unidad de tiempo de avance bajo estas condiciones experimentales. Al explicar la variabilidad de la variable dependiente se muestra en la figura 2 (coeficiente de determinación $R^2$= 0,88) que existe una dependencia 88% con respecto al tiempo de avance.

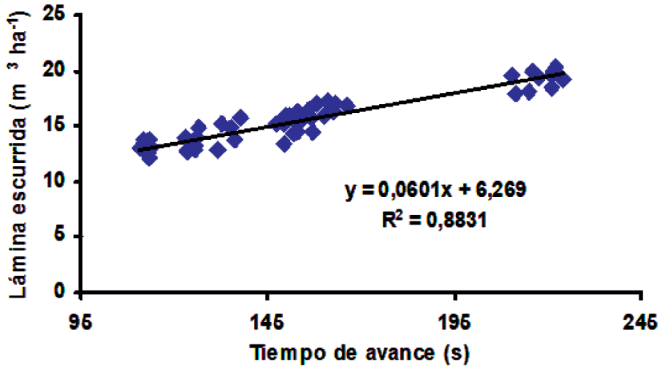


FIGURA 2. Análisis de regresión entre las variables *Le* y el tiempo de avance.

En la Tabla 2 se muestra la ecuación resultante de la relación entre la lámina escurrida y el tiempo de avance en este experimento para cada tratamiento, a partir de esta ecuación se puede definir el tiempo de riego en que la lámina escurrida es menor en función del método de riego empleado. Se destaca el tratamiento B con el mayor coeficiente de determinación y una variación de solo 0,125 $m^3$ perdidos por unidad de tiempo de avance durante el riego. En el tratamiento A, las pérdidas son de 0,614 $m^3$. El uso de la ecuación funcional resultante permite determinar el valor medio de la lámina de agua escurrida menor, con un uso eficiente del tiempo de riego, donde se demuestra que las variables independientes describen adecuadamente el proceso.

**TABLA 2. Resultados del análisis de regresión entre *Le* y el tiempo de avance (*tav)* promedio**

| Trat. | Ajuste Lineal (Le=a+bx) | $R^2$ | r | Error std. | ANOVA |
|---|---|---|---|---|---|
| A | *Le* = 0,614x – 28,8 | 0,88 | 0,94 | 0,22 | 0,0001 |
| B | *Le* = 0,1258x + 10,28 | 0,94 | 0,97 | 0,26 | 0,0002 |

En la Tabla 3 se puede apreciar que el tratamiento A, fue el de mayores pérdidas de suelo por escorrentía, supera 4,9 veces al tratamiento B; existen diferencias significativas entre los tratamiento.

**TABLA 3. Producción de sedimento kg·$m^{-3}$**

| Trat. | Números de riego | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| A | 0,42 | 0,39 | 0,.38 | 0,36 | 0,34 | 0,3 | 0,29 |
| B | 0,17 | 0,14 | 0,09 | 0,07 | 0,08 | 0,06 | 0,06 |
| CV% | | | | | | | 15,4 |

Letras no comunes en cada tratamiento difieren según la prueba de *Mann-Whitney.*

La Figura 3 ilustra el promedio de sedimento que se pierde en cada riego por cada tratamiento. Donde se destaca el tratamiento A, las pérdidas representan 6,6 veces mayores que el tratamiento B

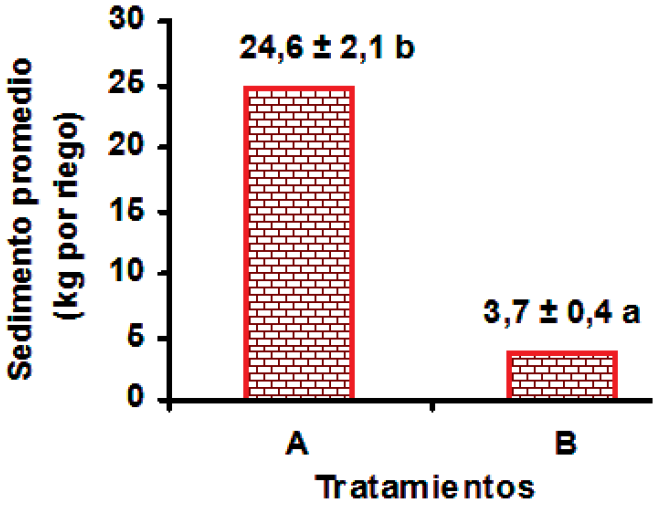


FIGURA 3. Cantidad de sedimento escurrido por cada norma de riego aplicada a cada tratamiento.

El rendimiento del riego en está zona se puede incrementarse a partir de esta técnica que implica equilibrar y disminuir aproximadamente a 63,6% los volúmenes de agua escurridos al pie del surco y disminuir y en un 84,9% la pérdida de suelo por escorrentía en cada riego con respecto al método tradicional que se utiliza en la zona por más de 30 años de explotación. Estos valores son superiores a los reportados por Smith *et al.* (2009) y Schilardi *et al.* (2009) con sistemas de riego superficiales tecnificados.

A partir de la estimación curvilínea (regresión) entre las variables producción de sedimento y lámina escurrida en toda la unidad experimental, el modelo que más se ajusta es el lineal para toda la unidad experimental y en la Figura 4 se ilustra la relación lineal positiva muy fuerte con un coeficiente de correlación 0,98 con un nivel de significación alto entre las variables y el coeficiente de determinación 0,968. La calidad del modelo encontrado se reafirma en el análisis de varianza que resultó altamente significativo. La tendencia es que a medida que se incrementa la variabilidad de la producción de sedimento aumenta la lámina escurrida, con un nivel de exactitud de 96,8%. Esto significa que por cada unidad que varía la variable independiente se incrementa la dependiente en 0,0221 kg·$m^{-3}$, lo que indica una correlación adecuada entre el modelo matemático y la evaluación de campo.

En la Tabla 4 se muestra la ecuación funcional resultante para cada tratamiento en la unidad experimental, con una relación alta entre las variables coeficiente de determinación entre 0,94 a 0,97. El nivel de probabilidad inferior al prefijado en la investigación y un error estándar de estimación relativamente bajo todos los coeficientes de regresión resultaron altamente significativos, donde se demostró que las variables independientes describen adecuadamente el proceso.

En el tratamiento A, esta relación fue de 0,035 kg·$m^{-3}$ que equivale de 1,6 a 2,6 veces superior al tratamiento de mejor comportamiento. El modelo encontrado en cada método de riego resulta una herramienta práctica importante para la

cuantificación de las pérdidas de sedimento en función de la lámina escurrida para cada riego.

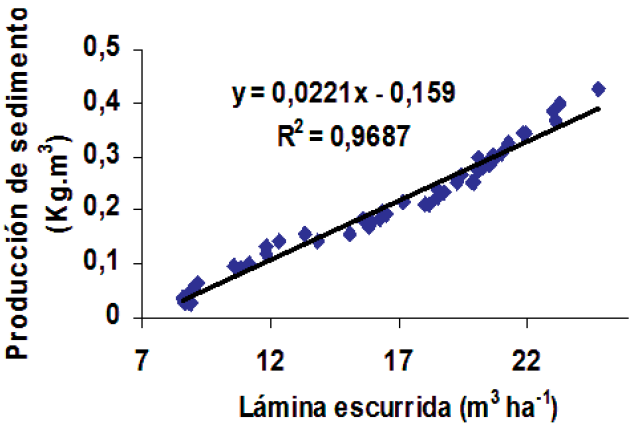


FIGURA 4. Análisis de regresión entre producción de sedimento (*As*) y la lámina de escurrimiento (*Le*).

**TABLA 4. Resultados del análisis de regresión entre (*As*) y (*Le*) promedio**

| Trat. | Ajuste Lineal (As=a+bx) | $R^2$ | r | Error std. | ANOVA |
|---|---|---|---|---|---|
| A | $A_s$ = 0,035x - 0,4002 | 0,94 | 0,97 | 0,011 | 0,0002 |
| B | $A_s$ = 0,021x – 0,148 | 0,97 | 0,98 | 0,009 | 0,0001 |

La *EAP* en los dos tratamientos fue superior al 60%, llegó en el B a superar el 80%. Este valor es superior al rango citado para este sistema de riego por Vázquez (2001) y Morábito (2005), estos consideran que es habitual que la *EAP* del riego superficial oscile de 40 al 60%. En la Tabla 5 se representan, para cada tratamiento, los valores de (EAP) promedio en las evaluaciones realizadas. Existen diferencias significativas entre estos tratamientos por lo que la probabilidad de obtener valores como el anterior mayores, es menor que 0,05 con este tamaño de muestra y bajo estas condiciones.

**TABLA 5. Eficiencia de aplicación (*EAP %*)**

| Trat | Números de riego | | | | | | | Media ± S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| A | 64,5 | 56,5 | 67,5 | 64,1 | 68,3 | 65,7 | 65,7 | 65±3,6b |
| B | 77,8 | 88,4 | 87,2 | 91,1 | 89 | 91,3 | 90,4 | 88±4,5a |
| CV % | | | | | | | | 11,13 |

Letras no comunes en cada tratamiento difieren según la prueba Mann-Whitney.

La Figura 5 muestra el porcentaje en que se incrementa la EAP para igual longitud de surco que el tratamiento A y el porcentaje de volumen de agua con respecto al total empleado por este propio tratamiento. Se destaca el tratamiento B que incrementa la *EAP* en un 23%, con un 77,8% del volumen de agua aplicada del tratamiento A.

Según Cisneros (2003), la eficiencia de aplicación está muy relacionada con la cantidad de agua útil para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, en relación al total del agua que se aplicó. Generalmente se mide en porcentaje pero si la llevamos a litros de agua útil en el suelo por cada 100 litros aplicados, se puede apreciar que el tratamiento B aporta 88 litros de agua útil para la planta y supera al riego continuo en 23 litros por cada 100 litros aplicados.

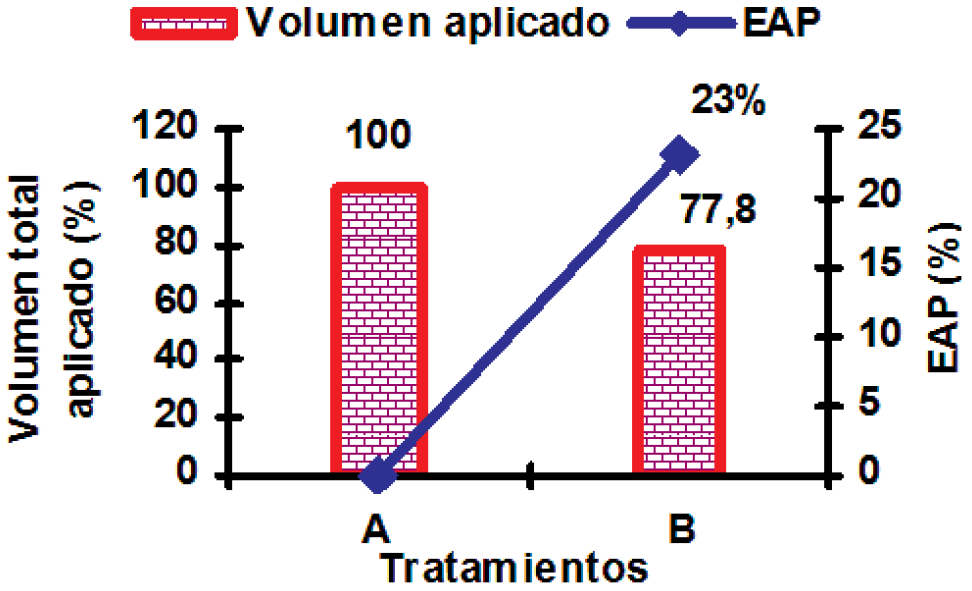


FIGURA 5. Incremento de la eficiencia de aplicación promedio y el porcentaje de agua consumida respecto al riego continuo.

## CONCLUSIONES

- Con el empleo del riego intermitente se reduce la lámina escurrida en un 61,9% y en un 71,4% la producción de sedimento respecto al método tradicional bajo las mismas condiciones.
- La variante propuesta incrementa la eficiencia de aplicación en un 23% con un 77,8% del volumen de agua aplicada por el método tradicional y se mejorar los indicadores técnicos y productivos de la actividad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


1. BETANCOURT, P.; J. OROPEZA; B. FIGUEROA; V. ORDAZ y C. ORTIZ: "Pérdidas de suelo y potencial hidrológico en parcelas con cobertura vegetativa de especies forrajeras: manejo de agua y suelo" *TIERRA Latinoamericana*, 18(3): 263-275, julio 2004.
2. BROWN, O.; R. ARTEAGA; A. CASTELLANO; E. ABREÚ; I. LÓPEZ y B. RODRÍGUEZ: "Diseño hidráulicos de tuberías con salidas múltiples utilizadas en los sistemas de riego superficiales" *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 24(1): 9-13, enero 2003.
3. CAROLINA, M.; M. CATIGLIONI; J. PAZ; M. WILSON y J. OSZUS: *Propiedades hidrológicas edáficas bajo diferentes secuencias de cultivos en siembra directa*, Barcelona, España: INTA- EEA, Panamá, 2009.
4. CISNEROS, R. *Apuntes de la materia de Riego y Drenaje*, 164pp., 1ra ed. México: Centro de Investigación y Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luís Potosí, 2003.
5. HERNÁNDEZ, A.; M. PÉREZ; D. BOSCH; L. RIVERO; E. CAMACHO; J. RUIZ; E. JAIMEZ; R. MARSÁN; A. OBREGÓN; J. TORRES; E. GONZÁLEZ; R. ORELLANA; J. PANEQUE y Á. MESA: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*, 64pp., Primera ed. La Habana: AGRINFON Ministerio de la Agricultura, ISBN 959-246-022-1, La Habana, Cuba, 1999.
6. MORÁBITO, J. A.: *Desempeño del riego por superficie en el área del río Mendoza, eficiencia actual y potencial. Parámetros de riego y recomendaciones para un mejor aprovechamiento en un marco sustentable*, pp. 12-28, **Tesis (en opción al título de Master en Ciencias),** Mendoza, Argentina: 2005.
7. NALVATE, R. A. y R. HUACHOS: *Necesidades de agua y evaluación de los sistemas de riego intermitente y continúo en el cultivo de Brocoli*, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola (UNALM), Lima, Perú, 2007.
8. RODRÍGUEZ, M. y M. SANTANA: *Evaluación de la modalidad de riego intermitente en el cultivo de la cebolla (Allium cepa L.) en Banao, Sancti Spíritus,* 67pp., **Trabajo de Diploma (en opción al título de Ing. Agrónomo)** Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez (UNISS,) Departamento de Ciencias Agropecuarias, Sancti Spíritus, Cuba, 2003.
9. RODRÍGUEZ, M.; M. SANTANA; F. ALONSO y B. DELGADO: Mejoramiento del riego por surco en el cultivo de la cebolla (Allium cepa L.) con el uso de un Tanque de Descarga de Fondo. En: **I Conferencia Científica Internacional de la UNISS (YAYABOCIENCIA, 2011)**, 28-30 del mes de noviembre 2011, ISBN: 978-959-250-730-6, Sancti Spíritus. Cuba, 2011.
10. SANTANA, M.: Tecnología sostenible para el mejoramiento del riego por surcos y protección del suelo en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa*, L.) en condiciones de premontaña, 126pp., **Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias),** Universidad de Ciego de Ávila, Centro de Estudios Hidrotécnicos, 2007.
11. SCHILARDI, C.; A. MORÁBITO y R. VALLONE: *Modelación matemática del riego por superficie como una alternativa superadora para el manejo del riego en finca*. Instituto Nacional del Agua-Centro Regional Andino y la Facultad de Ciencias Agrarias-UNCuyo, Mendoza, Argentina, 2009.
12. SMITH, R.; M. GILLIES; M. SHANAHAN; B. CAMPBELL & B. WILLIAMSO: *Evaluating the Performance of Bay Irrigation in the GMID*, Irrigation Australia Ltd, Swan Hill, Vic, Australia, 18 -21 Oct: Irrigation and Drainage conference, Australia, 2009.
13. SPSS Inc.: SPSS Syntax Reference Guide Base 10.0 for Windows User's Guide. SPSS Inc., Chicago IL. SPSS Release 11.5 for Windows Statistical Software. 2002.
14. VÁZQUEZ, E.: "Diseño del riego con incremento de gasto en surcos cerrados", *Ingeniería del agua*, 8(3): 339, septiembre 2001.


**Recibido**: 18 de septiembre 2012.
**Aprobado**: 24 de julio de 2013

*Manuel Rodríguez González,* Prof. Auxiliar, especialista en Agricultura Sostenible, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Sancti Spiritus, Sancti Spiritus, Cuba. Correo electrónico: manuel@suss.co.cu

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.