



## Determining of Hydric and Energetic Efficiency of Localized Irrigation under Greenhouse Conditions

### *Determinación de la eficiencia hídrica y energética en el riego localizado, bajo condiciones protegidas*

Dr.C. Norge Tornés Olivera<sup>1</sup>, MSc. Yarisbel Gómez Masjuan<sup>1</sup>, Ing. Eduart Myor Robles<sup>1</sup>, Dr.C Oscar Brown Manrique<sup>11</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Granma (UDG), Facultad de Ciencias Técnicas, Bayamo, Granma, Cuba.

<sup>11</sup> Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH), Ciego de Ávila, Cuba.

Norge Tornés Olivera<sup>1</sup>, Yarisbel Gómez Masjuan<sup>2</sup>, Eduart Myor Robles<sup>3</sup> & Oscar Brown Manrique<sup>4</sup>

**ABSTRACT.** The investigation was developed in the UEB of Protected and Semi-Protected Crops, belonging to the Agricultural Enterprise “Paquito Rosales Benítez”, located in Veguitas Town, Yara Municipality, Granma Province, with the objective of determining the hydric and energetic efficiency of localized irrigation under greenhouse conditions. For the calculation of the different indicators, two greenhouses were selected, one of them was planted with cucumber and another one was planted with pepper. Localized irrigation evaluation was carried according to American Society of Agricultural Engineers from United States, through their standard ASAE EP-438 methodology. The parameters of quality of irrigation and of hydraulic characterization of the system, confirmed the good functioning of it. Energy cost was 210.00 CUP ha<sup>-1</sup> for cucumber crop and of 378.00 CUP ha<sup>-1</sup> for pepper crop. The cost of the energy to produce one ton was 4.69 CUP t<sup>-1</sup> for the cucumber crop and of 10.46 CUP t<sup>-1</sup> for the pepper crop. Higher water productivity was guaranteed in cucumber crop (40,7 kg m<sup>-3</sup>) than the pepper crop (17,91 kg m<sup>-3</sup>). Water productivity in monetary terms was of 129.83 CUP m<sup>-3</sup> and 81.14 CUP m<sup>-3</sup> for the cucumber crop and pepper crop, respectively.

Keywords: operation diagram, energy, water productivity.

**RESUMEN.** La investigación se desarrolló en la UEB de Cultivos Protegidos y Semiprotegido perteneciente a la Empresa Agropecuaria Paquito Rosales Benítez ubicada en el poblado de Veguitas, municipio Yara, provincia Granma, con el objetivo de determinar la eficiencia hídrica y energética del riego localizado en condiciones de casas de cultivos protegidos. Para el cálculo de los distintos indicadores se seleccionaron dos casas de cultivo, una sembrada de pepino (Casa 1) y otra de pimiento (Casa 2). La evaluación del riego localizado se realizó siguiendo la metodología de la Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas de Estados Unidos, a través de sus estándares ASAE EP-438. Los parámetros de calidad del riego y de caracterización hidráulica del sistema, confirmaron el buen funcionamiento del mismo. El costo de la energía fue de 210.00 CUP ha<sup>-1</sup> para el pepino y de 378.00 CUP ha<sup>-1</sup> para el pimiento; mientras que el costo de la energía para producir una tonelada fue de 4.69 CUP t<sup>-1</sup> para el pepino y de 10.46 CUP t<sup>-1</sup> para el pimiento. En cultivo de pepino la productividad del agua (40,7 kg m<sup>-3</sup>) fue mayor que en el pimiento (17,91 kg m<sup>-3</sup>). La productividad del agua en términos monetarios resultó ser de 129.83 CUP m<sup>-3</sup> y 81.14 CUP m<sup>-3</sup> para los cultivos de pepino y pimiento respectivamente.

**Palabras clave:** diagrama de operación, energía, productividad del agua.

## INTRODUCTION

According to Laura and López (2017), the interest of localized irrigation is due to that it increases water use efficiency and reduces operating costs. This method of irrigation

## INTRODUCCIÓN

Según Laura y López (2017) el interés del riego por goteo, se debe a que aumenta la eficiencia en el uso del agua y reduce los costos de operación. Este método de riego constituye

constitutes an improvement in water application to the plant. As all invention, it requires an adequate management that guarantees the return of investment. Therefore, it is convenient to evaluate an installation to check the designing criteria and to monitor the obstruction in emitters by means of tests of uniformity evaluation.

On the other hand, Tarjuelo et al. (2015) and Stambouli et al. (2014), consider it is important to accomplish a routine of evaluation to determine the energetic efficiency of an irrigation system and to help in the process of decision-making, considering the improvements in the system of water distribution, to optimize the consumption of energy and the economic planning.

In the future, due to the limitations of water and energy, the reserved zones of production will increase in the agricultural areas (Brenon et al., 2018) and with that, there will be the need to explore new technologies and methodologies for handling irrigation systems. With hydric efficiency studies in installations of irrigation, it is possible to check the functioning of pumping equipment, to identify deficiencies and to propose the correspondent improvements, viable from economic point of view (Ríos et al., 2016). This work aimed at determining hydric and energetic efficiency of localized irrigation under greenhouse conditions.

## METHODS

### Localization of the Experimental Test

The investigation was carried out in the UEB of Protected and Semi-Protected Crops, belonging to the Agricultural Enterprise “Paquito Rosales Benítez”, Yara Municipality, in Granma Province.

### Field Methodology

For the calculation of the different indicators two cultivation greenhouses were selected, one planted of cucumber (*Cucumis sativus* L. hybrid HS-008) (Greenhouse 1) and another one planted of pepper (*Capsicum annum* hybrid LDPS) (Greenhouse 2). Each greenhouse had a productive area of 0,0540 ha. Pepper was planted on November 20, 2017 and had a 70-day cycle and cucumber was planted on January 17, 2018 and had a 70-day cycle too. There were twelve lateral lines per greenhouse, with a longitude of 45 m and 100 droppers each. A daily irrigation was applied during 15 min.

The characteristics of the motor pump set are described in the following Table:

una mejora en la aplicación del agua a la planta. Como toda innovación requiere de un manejo adecuado que garantice el retorno de la inversión, por tanto, es conveniente evaluar una instalación para comprobar los criterios de diseño y monitoreo de obturación en emisores mediante pruebas de evaluación de uniformidad.

Por otra parte Tarjuelo et al. (2015) y Stambouli et al. (2014) consideran que es importante no sólo llevar a cabo una rutina de evaluación para determinar la eficiencia energética de un sistema de riego, sino también ayudar en el proceso de toma decisiones considerando las mejoras en el sistema de distribución de agua, para optimizar el consumo de energía y la planificación económica.

En el futuro cercano debido a las limitaciones de agua y energía, los cotos de producción aumentarán en las áreas agrícolas (Brenon et al., 2018) por lo que habrá la necesidad de explorar nuevas tecnologías y metodologías para manejo de sistemas de riego.

Con la realización de estudios de hidroeficiencia en instalaciones de riego, es posible la comprobación del funcionamiento de los equipos de bombeo, la identificación de deficiencias y proponer las correspondientes mejoras, viables desde un punto de vista económico (Ríos et al., 2016). Este trabajo tuvo como objetivo determinar la eficiencia hídrica y energética del riego localizado en la producción de pepino y pimiento en condiciones de casas de cultivos protegidos.

## MÉTODOS

### Localización del ensayo experimental

La investigación se desarrolló en la Unidad Empresarial de Base Cultivos Protegidos y Semiprotegidos perteneciente a la Empresa Agropecuaria Paquito Rosales Benítez de Veguitas, municipio Yara, provincia Granma.

### Metodología de campo

Para el cálculo de los distintos indicadores se seleccionaron dos casas de cultivo, una sembrada de pepino (*Cucumis sativus* L. híbrido HS-008) (Casa 1) y otra de pimiento (*Capsicum annum* híbrido LDPS) (Casa 2). Cada casa tenía un área productiva de 0,0540 ha. La siembra del cultivo del pepino fue el 17 de enero de 2018 y tuvo un ciclo 70 días La siembra del cultivo del pimiento fue 20 de noviembre de 2017 y tuvo un ciclo 126 días. El total de líneas laterales por casa fue 12, con una longitud de 45 m y 100 goteros por línea. Se aplicó un riego diario durante 15 min.

Las características de la electrobomba se describen en la tabla siguiente:

TABLE 1. Motor pump set characteristics  
TABLA 1. Características de la electrobomba

Motor pump set	Pe (kW)	Pf (kW)	PMan(kW)	Q(L S <sup>-1</sup> )
Submersible pump T.4-33	6,50	5,53	4,85	10

Note: means electric power; arrow power; manometric power; Q discharge.  
Nota: Pe significa potencia eléctrica; Pf potencia de la flecha; PeMan potencia manométrica; Q caudal de entrega.

The evaluation of the localized irrigation was carried out, according to the American Society of Agricultural Engineers, Microirrigation Committee, through its standards ASAE EP 438 (1998). For the calculation of pressures a model EN837 gauge was utilized. Dripper discharges were calculated by measuring discharge method. Electric measurements in the motor were made with UT-232 Digital Amperometric Clamp.

### Calculation of Quality Irrigation Parameters

The evaluation of the parameters of quality of irrigation was carried out according to the ASAE methodology (1998). The following indicators were calculated:

$$CU = \frac{H_{Lq}}{\bar{H}} 100 \quad (1)$$

$$UD_{Lq} = \frac{H_{Lq}}{\bar{H}} 100 \quad (2)$$

$$UE = 1 - \left( \frac{1,27 \cdot CV}{e} \right) * \left( \frac{H_{Lq}}{\bar{H}} \right) * 100 \quad (3)$$

$$U_{sh} = (1 - CV_{qh}) 100 \quad (4)$$

$$US = (1 - CV) 100 \quad (5)$$

where:

CU is the uniformity coefficient, %;

$H_{Lq}$  average irrigation water applied in the least irrigated quarter,  $cm^3$ ;

mean irrigation water collected in all catch cans within the area  $cm^3$ ;

$UD_{Lq}$  distribution uniformity,

UE uniformity of absolute emission, %;

CV variation coefficient due to flow intensities, %;

$U_{sh}$  statistical uniformity due to hydraulics, %;

$CV_{qh} = \frac{S_h}{\bar{h}}$  variation coefficient of the emitter discharge due to hydraulics;

$S_h$  standard deviation of the pressure load m.c.a mean of the pressure load m.c.a;

US statistical uniformity, %.

### Evaluation and Improvement of Irrigation

Net irrigation requirement ( $Dn=1L \text{ planta}^{-1}$ ), was obtained from Technical Handbook of Organoponics and Intensive Orchards (2000). To calculate gross irrigation requirement ( $Dt=Dn/0,9 L \text{ planta}^{-1}$ ) an efficiency of 90% was considered.

For the adjustment of the normal distribution function to the farm data, the volume of relative irrigation (Hr) was calculated dividing each irrigation depth ( $H_i$ ) by  $\bar{H}$  and it was defined that each measurement represents the area of irrigation equally. The fraction of area irrigated (f) was obtained dividing each area ( $A_i$ ) by the total area ( $A_t$ ). In order to check if data obtained could be adequately model with a normal distribution, Normality Test using the Shapiro-Wilk Statistics (W) was carried out and to prove if it was reasonable that obtained data came from the adjusted distribution Kolmogorov Smirnov's

La evaluación del riego localizado se realizó siguiendo la metodología de la Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas de Estados Unidos, a través de sus estándares ASAE EP-438 (1998). Para el cálculo de las presiones se utilizó un manómetro modelo EN837-1. La medición del caudal de los emisores se realizó mediante aforo volumétrico. También se realizaron mediciones eléctricas en el motor con Pinza Amperométrica Digital UT-232.

### Cálculo de los parámetros de calidad del riego

La evaluación de los parámetros de calidad del riego se realizó por la metodología propuesta por la ASAE (1998). Se calcularon los indicadores siguientes:

$$CU = \frac{H_{Lq}}{\bar{H}} 100 \quad (1)$$

$$UD_{Lq} = \frac{H_{Lq}}{\bar{H}} 100 \quad (2)$$

$$UD_{Lq} = \frac{H_{Lq}}{\bar{H}} 100 \quad (3)$$

$$U_{sh} = (1 - CV_{qh}) 100 \quad (4)$$

$$US = (1 - CV) 100 \quad (5)$$

donde:

CU es el coeficiente de uniformidad, %;

$H_{Lq}$  la media del cuarto menos regado,  $cm^3$ ;

la media de todos los volúmenes aplicados,  $cm^3$ ;

$UD_{Lq}$  la uniformidad de distribución, %;

UE la uniformidad de emisión absoluta, %;

CV el coeficiente de variación debido a los caudales, %;

$U_{sh}$  la uniformidad estadística debido a la hidráulica, %;

$CV_{qh} = \frac{S_h}{\bar{h}}$  el coeficiente de variación de descarga del emisor debido a la hidráulica;

$S_h$  la desviación estándar de la carga de presión m.c.a y la media de la carga de presión, m.c.a;

US la uniformidad estadística, %.

### Evaluación y mejora del riego

La dosis neta de riego ( $Dn=1L \text{ planta}^{-1}$ ), se obtuvo del Manual Técnico de Organopónicos y Huertos Intensivos (2007). Para el cálculo de dosis total ( $Dt=Dn/0,9 L \text{ planta}^{-1}$ ) se consideró una eficiencia del 90%.

Para el ajuste de la función de distribución normal a los datos de campo se calculó el volumen de riego relativo (Hr) dividiendo cada lámina aplicada ( $H_i$ ) entre  $\bar{H}$  y se asumió que cada medición representa equitativamente el área de riego, obteniendo así la fracción del área regada (f) mediante la división de cada área ( $A_i$ ) por el área total ( $A_t$ ). Para comprobar si los datos podían modelarse adecuadamente con una distribución normal, se realizó la Prueba de Normalidad usando el Estadístico (W) de Shapiro-Wilk y para determinar si era razonable que los datos provenían de la distribución ajustada se realizó la Prueba de Kolmogorov-Smirnov. El paquete estadístico utilizado fue el

Test was carried out. The statistical package Statgraphics 18 Centurion was utilized.

In order to elaborate the operation diagram of the irrigation in terms of normal distribution, four variables were utilized, one independent, Hr, and three dependents, f, application efficiency (EA) and the coefficient of deficit (Cd).

For the calculation of EA, the following expression was utilized:

$$EA = 1 + Xf \left( \frac{UD_{Lq}^{-1}}{1.27} \right) - \left( \frac{UD_{Lq}^{-1}}{1.27} \right) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (6)$$

where: typified variable; S the standard deviation of volumes applied, cm<sup>3</sup>

For the calculation of the following expression was utilized:

$$cd = 1 - \frac{EA}{H_r} \quad (7)$$

Calculations of the indicators of energetic consumption were carried out according to López et al. (2012) methodology:

$$EB = PMant_r \quad (8)$$

$$PMan = \frac{\gamma Q g H_{man}}{1000} \quad (9)$$

$$EC_c = EB C_c \quad (10)$$

$$EC_{ha} = \frac{EC_c}{A} \quad (11)$$

$$EC_{m^3} = \frac{EC_c}{V_a} \quad (12)$$

where:

EB pumping energy, kWh;

PMan water energy, kW;

γ specific mass of water, kg m<sup>-3</sup>;

Q pump discharge, m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>;

g gravity acceleration, m s<sup>-2</sup>;

Hman total dynamic load of pumping, m.c.a;

t<sub>r</sub> irrigation time, h;

EC<sub>c</sub> energy consumed in the crop cycle, kWh;

C<sub>c</sub> crop cycle, d; EC<sub>ha</sub> energy consumed per hectare, kWh ha<sup>-1</sup>;

A cultivated area, ha;

EC<sub>m<sup>3</sup></sub> energy consumed per cubic meter, kWh m<sup>-3</sup>.

#### Calculation of Indicators of Productivity and Efficient Use of Water

The calculation of the indicators of productivity and efficient use of water was carried out according to Salazar et al. (2014) methodology:

$$RR = \frac{P}{a} \quad (13)$$

$$PAR = \frac{P}{V_a} \quad (14)$$

$$EUA = \frac{V_a}{P} \quad (15)$$

Statgraphics 18 centurion.

Para elaborar el diagrama de operación del riego en función de la distribución normal, se utilizaron cuatro variables, una independiente, (Hr), y tres dependientes, (f), la eficiencia de aplicación (EA) y el coeficiente de déficit (Cd).

Para el cálculo de EA se utilizó la expresión siguiente:

$$EA = 1 + Xf \left( \frac{UD_{Lq}^{-1}}{1.27} \right) - \left( \frac{UD_{Lq}^{-1}}{1.27} \right) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (6)$$

donde: variable tipificada; S es la desviación estándar de los volúmenes aplicados, cm<sup>3</sup>.

Para el cálculo de Cd se utilizó la expresión siguiente:

$$cd = 1 - \frac{EA}{H_r} \quad (7)$$

Cálculo de los indicadores de consumo energético

El cálculo de los indicadores de consumo energético se realizó según metodología propuesta por López et al. (2012):

$$EB = PMant_r \quad (8)$$

$$PMan = \frac{\gamma Q g H_{man}}{1000} \quad (9)$$

$$EC_c = EB C_c \quad (10)$$

$$EC_{ha} = \frac{EC_c}{A} \quad (11)$$

$$EC_{m^3} = \frac{EC_c}{V_a} \quad (12)$$

donde:

EB es la energía de bombeo, kWh;

PMan la potencia manométrica, kW;

γ la masa específica del agua, kg m<sup>-3</sup>;

Q el caudal de entrega de la bomba, m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>;

g la aceleración de la gravedad, m s<sup>-2</sup>;

Hman la carga dinámica total de bombeo, m.c.a; tr el tiempo de riego, h;

EC<sub>c</sub> la energía consumida en el ciclo del cultivo, kWh; C<sub>c</sub> el ciclo del cultivo, d;

EC<sub>ha</sub> la energía consumida por hectárea, kWh ha<sup>-1</sup>;

A el área cultivada, ha; EC<sub>m<sup>3</sup></sub> la energía consumida por metro cubico, kWh m<sup>-3</sup>.

#### Cálculo de los indicadores de productividad y uso eficiente del agua

El cálculo de los indicadores de productividad y uso eficiente del agua se realizó siguiendo la metodología propuesta por Salazar et al. (2014):

$$RR = \frac{P}{a} \quad (13)$$

$$PAR = \frac{P}{V_a} \quad (14)$$

where:

- R crop yield, t ha<sup>-1</sup>;
- P agricultural production, t;
- PAR irrigation water productivity, kg m<sup>-3</sup>;
- V<sub>a</sub> volume of water applied, m<sup>3</sup>;
- EUA water use efficiency, m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>.

### Calculation of Economic Indicators

The calculation of economic indicators was carried out using the following equation:

$$EUA = \frac{V_a}{P} \tag{16}$$

$$CE_{m^3} = EC_{m^3} P_e \tag{17}$$

$$CE_t = \frac{EC_c}{P} P_e \tag{18}$$

$$CA_t = \frac{V_a}{P} P_a \tag{19}$$

$$PA = \frac{I}{V_a} \tag{20}$$

where:

- CE<sub>ha</sub> energy cost per hectare, CUP ha<sup>-1</sup>;
- Pe energy price (0.027 CUP kWh<sup>-1</sup>);
- CE<sub>m<sup>3</sup></sub> specific cost for cubic meter of water, CUP m<sup>-3</sup>;
- EC<sub>t</sub> energy cost per ton, CUP m<sup>-3</sup>;
- EC<sub>t</sub> water irrigation cost per ton, ;
- water irrigation price (0.025 CUP m<sup>-3</sup>);
- PA water productivity, CUP m<sup>-3</sup>;
- CUP m<sup>-3</sup>; I gross income, CUP.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Analysis of Irrigation Quality Parameters

The CU values obtained were 90% and 81% for the Greenhouses 1 and 2, respectively (Table 2). The average value was 85%; therefore, the grade of acceptability is good according to Rodrigo et al. (1992) and Álvaro (2014) opinions.

**TABLE 2. Uniformity coefficient, variation of flow of the emitter and uniformity distribution values**  
**TABLA 2. Valores del coeficiente de uniformidad, variación de flujo del emisor y uniformidad de distribución**

Description	CU (%)	UD <sub>qt</sub> (%)	UE (%)	U <sub>sh</sub> (%)	Us (%)
Greenhouse 1	90	84,90	74,48	87,32	87,04
Greenhouse 2	81	92,64	73,82	84,31	79,74
Average	85	88,77	74,15	85,815	83,39

The CU is as much a measure of the irrigation uniformity as an indicator of the technical status of the system. A low value of the CU can be caused by any obstruction, either physical, chemical or biological and in such cases, it will be necessary to accomplish preventive or cleanliness treatments. The values

$$EUA = \frac{V_a}{P} \tag{15}$$

donde:

- R es el rendimiento agrícola, t ha<sup>-1</sup>;
- P producción agrícola, t;
- PAR productividad del agua de riego, kg m<sup>-3</sup>;
- V<sub>a</sub> el volumen de agua aplicado, m<sup>3</sup>;
- EUA la eficiencia en el uso del agua, m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>.

### Cálculo de los indicadores económico

El cálculo de los indicadores económico se realizó mediante las fórmulas siguientes:

$$EUA = \frac{V_a}{P} \tag{16}$$

$$CE_{m^3} = EC_{m^3} P_e \tag{17}$$

$$CE_t = \frac{EC_c}{P} P_e \tag{18}$$

$$CA_t = \frac{V_a}{P} P_a \tag{19}$$

$$PA = \frac{I}{V_a} \tag{20}$$

donde:

- CE<sub>ha</sub> es el costo de la energía por hectárea, CUP ha<sup>-1</sup>;
- Pe el precio de la energía (0.027 CUP kWh<sup>-1</sup>);
- CE<sub>m<sup>3</sup></sub> el costo específico por metro cubico de agua, CUP m<sup>-3</sup>;
- EC<sub>t</sub> el costo de la energía por tonelada, CUP t<sup>-1</sup>;
- CA<sub>t</sub> el costo del agua por tonelada, CUP t<sup>-1</sup>;
- P<sub>a</sub> el precio del agua (0.025 CUP m<sup>-3</sup>);
- PA la productividad del agua, CUP m<sup>-3</sup>; los ingresos, CUP.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de los parámetros de calidad del riego

El CU alcanzó valores de 90% y 81% para las casas 1 y 2 respectivamente (Tabla 2). El valor promedio fue de 85%, por

lo que el grado de aceptabilidad es bueno según el criterio de Rodrigo et al. (1992) y Álvaro (2014).

El CU es tanto una medida de la uniformidad del riego, como un indicador del estado técnico del sistema. Un valor bajo del CU puede ser motivado por alguna causa de obturación, ya



obtained reflect that these deficiencies do not exist, due to the realization of preventive treatments.

The uniformity of distribution  $UD_{Lq}$ , had better behavior in Greenhouse 2 (92, 64%) compared to the value obtained in Greenhouse 1 (84, 90%), which is because average irrigation water applied in the least irrigated quarter, was lower in Greenhouse 2. It should be noted that high values of uniformity do not necessarily imply good irrigation management. A high value of uniformity can, under certain circumstances, be associated with an unsatisfactory irrigation.

The values of  $UE$ ,  $U_{sh}$  and  $U_s$  obtained in Greenhouse 1 surpassed those of Greenhouse 2 (Table 2). The smallest differences (3, 01%) were observed in  $U_{sh}$ , this is due to the fact that the pressures are less variable than the flows, because of that the difference of  $U_s$  was 7,3%. The intermediate value corresponded to  $UE$  (4, 66%), which is justified because the product of the factors of this indicator takes into account the variability due to the manufacture of the emitter and pressure changes in the system (Turégano, 2014). According to the criteria of Carmenates et al. (2014), the acceptability of the method would be regular, since the uniformity of emission does not exceed 75%.

### Analysis of the Evaluation and Improvement of Irrigation

From the construction of the standardized non-dimensional distribution curve, a group of important parameters in irrigation can be identified (Figure 1). The curve of this function generally has an S shape and, as the uniformity improves, it becomes more horizontal. In this case, the curve does not have an S shape, which is due to the localized irrigation characteristic of presenting high values of uniformity, average  $CU$  (85%) and average  $UD_{Lq}$  (88,77%).

sea física, química o biológica y en tales casos será necesario realizar tratamientos preventivos o de limpieza, los valores obtenidos no reflejan que existan estas deficiencias, lo cual se debe, a que se cumplen con los tratamientos preventivos.

La uniformidad de distribución  $UD_{Lq}$  tuvo mejor comportamiento en la Casa 2 (92,64%) comparado con el valor obtenido en la Casa 1 (84,90%), lo cual se debe a que la lámina media del cuarto menos regado, fue menor en la Casa 2. Hay que destacar que valores elevados de uniformidad no implican, necesariamente, un buen manejo del riego. Un valor elevado de uniformidad puede, bajo ciertas circunstancias, estar asociado con un riego insatisfactorio.

Los valores de la  $UE$ ,  $U_{sh}$  y  $U_s$  obtenidos en la Casa 1 superaron a los de la Casa 2 (Tabla 2). Las menores diferencias (3,01%) se observaron en  $U_{sh}$ , esto se debe a que las presiones son menos variables que los caudales, razón por la cual, la diferencia de  $U_s$  fue de 7,3%. El valor intermedio correspondió a  $UE$  (4,66%) lo cual se justifica porque el producto de los factores de este indicador, tiene en cuenta la variabilidad debido a la fabricación del emisor y los cambios de presión del sistema (Turégano, 2014). De acuerdo con el criterio de Carmenates et al. (2014) la aceptabilidad del método sería regular, ya que la uniformidad de emisión no supera el 75%.

### Análisis de la evaluación y mejora del riego

A partir de la construcción de la curva de distribución adimensional normalizada, se pueden identificar un grupo de parámetros importantes en riego (Figura 1). La curva de esta función tiene generalmente forme de S y, en la medida que mejora la uniformidad, se hace más horizontal. En este caso la curva no tiene una forma de S, lo cual se debe a la característica del riego localizado de presentar elevados valores de uniformidad,

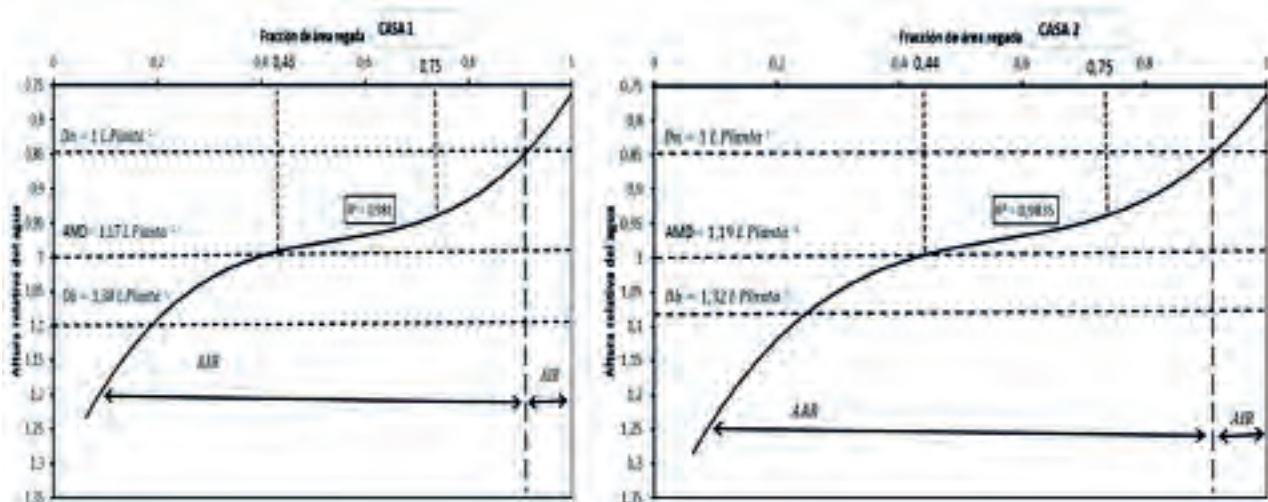


FIGURE 1. Adjustment of the normal distribution function to the field data.  
 FIGURA 1. Ajuste de la función de distribución normal a los datos de campo.

In this evaluation it was proved that applying a net dose of  $1 \text{ L plant}^{-1}$ , it was guaranteed that 64% of the least irrigated area received that dose. It should be noted that this result is very difficult to achieve in the methods of

$CU$  promedio 85%;  $UD_{Lq}$  promedio 88,77%.

En esta evaluación se comprobó que aplicando una dosis neta de  $1 \text{ L planta}^{-1}$ , se garantizó que el 64% del área

superficial irrigation and sprinkling, mainly due to the problems of uniformity.

The average heights discharged were similar, 1,17 and 1,19 L plant<sup>-1</sup>, for Greenhouses 1 and 2, respectively. More water was applied (17% and 19% for Greenhouses 1 and 2, respectively) when comparing average heights discharged with the net dose. When analyzing the total dose, the result showed the same tendency 30% and 32% increase in relation to the net dose for Greenhouses 1 and 2, respectively.

The irrigation operation diagram (Figure 2), relates the independent result of each relative irrigation volume,  $H_r$ , with the parameters dependent on its application. Although a greater number of variables can be considered, only three were analyzed, to facilitate the opposing application trends.

Thus, high values of application efficiency, EA, correspond to fractions of adequately irrigated small area,  $f$ . Of particular interest was the relationship between  $H_r$  and the deficit coefficient Cd. Both values show similar trends of increase or decrease depending on  $H_r$ ; however, in practice this is a problem, considering that increasing the EA means increasing areas with water deficits in the field and, consequently, affecting crop yield. The same result is obtained if the Cd is increased to increase the EA.

An example application of the diagram using the results of Greenhouse 1 is as follows: if it is considered not to have deficits during irrigation, it would be necessary to apply 1,06 times the average height discharged or average dose 1,30 L plant<sup>-1</sup> (Figure 1) and more than 80% of the area adequately irrigated or irrigated in excess would be achieved. If it is considered to achieve an efficiency of 100%, it would be necessary to apply 0,96 times the average height discharged or average dose 1, 30 L plant<sup>-1</sup> (Figure 1) and it would be possible to properly irrigate 50% of the area.

menos regada recibiera esa dosis. Debe señalarse que este resultado es muy difícil de lograr en los métodos de riego superficial y aspersión debido, fundamentalmente, a los problemas de uniformidad.

Las alturas medias descargadas fueron similares 1,17 y 1,19 L planta<sup>-1</sup> para las casas 1 y 2 respectivamente. Se aplicó 17% y 19% más de agua al comparar alturas medias descargadas en ambas casas con la dosis neta. Al analizar la dosis total, el resultado mostró igual tendencia 30% y 32% de incremento con relación a la dosis neta para las casas 1 y 2 respectivamente.

El diagrama de operación de riego (Figura 2), relaciona el resultado independiente de cada volumen de riego relativo,  $H_r$ , con los parámetros dependientes de su aplicación. Aunque se pueden considerar un número mayor de variables, solo se analizaron tres, para facilitar las tendencias contrapuestas de aplicación.

Así valores altos de eficiencia de aplicación, EA, se corresponden con fracciones de área adecuadamente regadas,  $f$ , pequeñas. De particular interés resultó la relación entre  $H_r$  y el Cd. Ambos valores muestran tendencias similares de aumento o disminución en función de  $H_r$ ; sin embargo esto en la práctica es un problema, considerando que aumentar la EA, significa aumentar zonas con déficits de agua en el campo y en consecuencia afectación al rendimiento del cultivo. El mismo resultado se obtiene si se incrementa el Cd para aumentar la EA.

Un ejemplo de aplicación del diagrama utilizando los resultados de la Casa 1 es el siguiente: si se considera no tener déficits durante el riego, sería necesario aplicar 1,06 veces la altura media descargada o dosis media 1,30 L planta<sup>-1</sup> (Figura 1) y se conseguiría más del 80% del área adecuadamente regada o regada en exceso; si se considera lograr una eficiencia del 100%, sería necesario aplicar 0,96 veces la altura media descargada

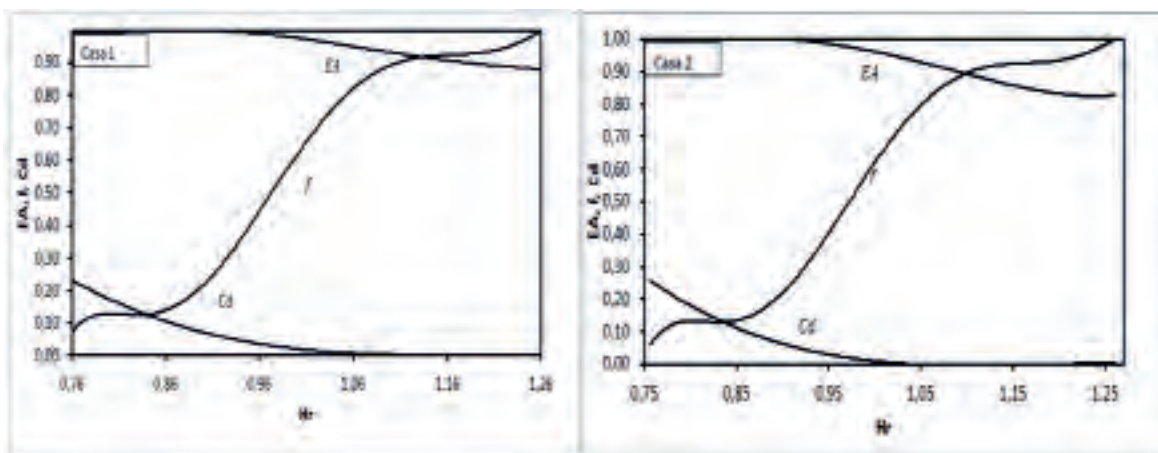


FIGURE 2. Operation diagram of the irrigation normal distribution function.  
 FIGURA 2. Diagrama de operación del riego función de distribución normal.

### Energy Analysis of Irrigation

The for irrigation reached a value of 0, 60 kWh for Greenhouses 1 and 2, respectively (Table 3). This result is justified because the pump works with the sums of the loads and the water volumes of both greenhouses, which are equal, achieving an equitable distribution of energy.

o dosis media 1,30 L planta<sup>-1</sup> (Figura 1) y se conseguiría regar adecuadamente 50% del área.

### Análisis energético del riego

La para un riego alcanzó un valor de 0,60 kWh para las casas 1 y 2 respectivamente (Tabla 3). Este resultado se justifica

The indicator ECc showed a difference of 33, 6 kWh Cc<sup>-1</sup>, this is due to the difference in crop cycle (56 d). A similar behavior was observed in EC<sub>ha</sub> which had a difference of 622, 22 kWh ha<sup>-1</sup> for the same reasons as ECc; the indicator EC<sub>m<sup>3</sup></sub> showed a difference of 0,02 kWh m<sup>-3</sup>, given by the discharge variability of the emitters (Table 3). These results are similar to those reported by Pérez et. al (2016) and Rocamora et. al (2006) in audits made to the Communities of Irrigators in Spain.

porque la bomba trabaja con las sumas de las cargas y los volúmenes de agua de ambas casas, los cuales son iguales, lográndose una distribución equitativa de la energía.

El indicador ECc mostró una diferencia de 33,6 kWh Cc<sup>-1</sup>, lo anterior obedece a la diferencia de ciclo del cultivo (56 d). Un comportamiento similar se observó en EC<sub>ha</sub>, el cual tuvo una diferencia de 622,22 kWh ha<sup>-1</sup> por las mismas razones que ECc; el indicador EC<sub>m<sup>3</sup></sub> presentó una diferencia de 0,02 kWh m<sup>-3</sup>, dada por la variabilidad

TABLE 3. Values of the energy consumed  
TABLA 3. Valores de la energía consumida

Description	EB (kWh)	EC <sub>c</sub> (kWh C <sub>c</sub> <sup>-1</sup> )	EC <sub>ha</sub> (kWh ha <sup>-1</sup> )	EC <sub>m<sup>3</sup></sub> (kWh m <sup>-3</sup> )
Greenhouse 1	0,60	42,00	777,78	0,71
Greenhouse 2	0,60	75,60	1400,00	0,69

**Analysis of Productivity and Water Use Efficiency**

The yield obtained in Greenhouse 1 was 44, 7 t ha<sup>-1</sup> and in Greenhouse 2 of 36, 11 t ha<sup>-1</sup> with a difference of 8, 59 t ha<sup>-1</sup> (Figure 3). It is necessary to point out that statistical tests were not carried out on this variable because they are crops that, genetically, have different potential yields. When analyzing, it was observed that the crop established in Greenhouse 1 (cucumber) was more productive than the one established in Greenhouse 2 (pepper), when 22, 79 kg m<sup>-3</sup>, exceeded it. In the indicator, the behavior was different, that is, pepper exceeded the water needs by 31, 25 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> (Figure 3); however, when it is referred to water use efficiency, cucumber continues with better results. This allows ensuring that for a situation of water resource limitation, it would be more convenient to sow cucumbers than peppers, since a greater volume of production is guaranteed with less water. Fernández (2006) had different results from those of this investigation when reporting values of 33,2 and 21,0 kg m<sup>-3</sup> of cucumber and pepper, respectively. This difference obeys to the planting time of both experiments.

de descarga de los emisores (Tabla 3). Estos resultados son similares a los reportados por Pérez et. al (2016) y Rocamora et. al (2006) en auditorías realizadas a la Comunidades de Regantes en España.

**Análisis de la productividad y uso eficiente del agua**

El rendimiento obtenido en la Casa 1 fue 44,7 t ha<sup>-1</sup> y en la Casa 2 de 36, 11 t ha<sup>-1</sup>, con diferencia de 8,59 t ha<sup>-1</sup> (Figura 3). Al analizar la PAR se observó que el cultivo (pepino) establecido en la Casa 1 fue más productivo que el establecido en la Casa 2 (pimiento) al superarlo en 22,79 kg m<sup>-3</sup>. En el indicador EUA el comportamiento fue diferente, es decir, el pimiento superó las necesidades de agua en 31,25 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> (Figura 3); sin embargo al tratarse de eficiencia en el uso del agua, el pepino sigue con mejores resultados. Lo anterior permite asegurar, que para una situación de limitación del recurso hídrico, sería más conveniente sembrar pepino que

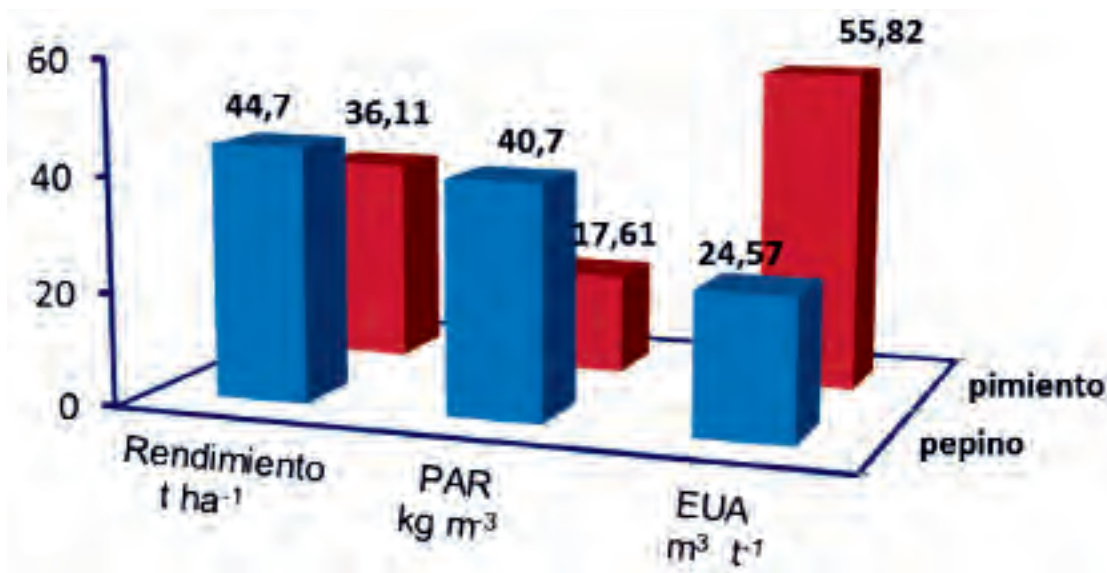


FIGURE 3. Crop yield values and water use indicators.  
FIGURA 3. Valores del rendimiento e indicadores de uso del agua.



### Economic Analysis of Irrigation

The  $CE_{ha}$  varied between 210.00 CUP ha<sup>-1</sup> (cucumber) and 378.00 CUP ha<sup>-1</sup> (pepper) (Table 4). This result is justified by the difference in the crop cycle, explained above. The  $CE_m^3$  corresponds to  $EC_{m^3}$  (indicator explained in Table 2); therefore, it has a difference of 0.01 CUP m<sup>-3</sup>.

pimiento, pues se garantiza mayor volumen de producción con menos agua. Fernández (2006) tuvo resultados distintos de los de esta investigación al reportar valores de 33,2 y 21,0 kg m<sup>-3</sup>. de pepino y pimiento, respectivamente.

### Análisis económico del riego

TABLE 4. Values of economic indicators  
TABLA 4. Valores de los indicadores económico

Description	$CE_{ha}$ CUP ha <sup>-1</sup>	$CE_m^3$ CUP m <sup>-3</sup>	$CE_t$ CUP t <sup>-1</sup>	$CA_t$ CUP t <sup>-1</sup>	PA CUP m <sup>-3</sup>
Greenhouse 1	210.00	0.19	4.69	0.61	129.83
Greenhouse 2	378.00	0.18	10.46	1.39	81.14

To produce a ton of cucumber, 4.69 CUP, was spent for energy, while 10.46 CUP t<sup>-1</sup> was spent for pepper. In relation to the cost of water to produce a ton of cucumber only 0.61 CUP is required and for pepper 0.39 CUP t<sup>-1</sup>. These values are low for the price of water in Cuba.

Water productivity showed that cucumber crop produced 129.83 CUP m<sup>-3</sup> while pepper crop 81.14 CUP m<sup>-3</sup>. It should be noted that the cultivation of cucumber had higher yields and better prices.

### CONCLUSIONS

- The parameters of irrigation quality and hydraulic characterization of the system confirmed the proper functioning of the system.
- The cost of energy was 210.00 CUP ha<sup>-1</sup> for cucumber and 378.00 CUP ha<sup>-1</sup> for pepper; while the cost of energy to produce a ton was 4.69 CUP ha<sup>-1</sup> for cucumber and of 10.46 CUP ha<sup>-1</sup> for pepper.
- Cucumber crop guaranteed higher production volumes (40,7 kg m<sup>-3</sup>) than pepper (17,91 kg m<sup>-3</sup>) for equal water consumption.
- Water productivity in monetary terms was of 129.83 CUP m<sup>-3</sup> and 81.14 CUP m<sup>-3</sup> for the cucumber crop and pepper crop, respectively.

El  $CE_{ha}$  varió entre 210.00 CUP ha<sup>-1</sup> (pepino) y 378.00 CUP ha<sup>-1</sup> (pimiento) (Tabla 4). Este resultado se justifica por la diferencia del ciclo de cultivo, explicado anteriormente. El  $CE_m^3$  tiene correspondencia con  $EC_{m^3}$  (indicador explicado en la Tabla 2), por tanto presenta una diferencia de 0.01 CUP m<sup>-3</sup>.

Para producir una tonelada de pepino se gastó por concepto de energía 4.69 CUP, mientras que para el pimiento se gastó 10.46 CUP t<sup>-1</sup>. Con relación al costo del agua para producir una tonelada de pepino solo se requieren 0.61 CUP y para el pimiento 0.39 CUP t<sup>-1</sup>, estos valores son bajos por el precio del agua en Cuba.

La productividad del agua demostró que el cultivo del pepino produjo 129.83 CUP m<sup>-3</sup>, mientras que el cultivo de pimiento 81.14 CUP m<sup>-3</sup>. Debe señalarse que el cultivo del pepino tuvo mayores rendimientos y mejores precios.

### CONCLUSIONES

- Los parámetros de calidad del riego y de caracterización hidráulica del sistema, confirmaron el buen funcionamiento del mismo.
- El costo de la energía fue de 210.00 CUP ha<sup>-1</sup> para el pepino y de 378.00 CUP ha<sup>-1</sup> para el pimiento; mientras que el costo de la energía para producir una tonelada fue de 4.69 CUP t<sup>-1</sup> para el pepino y de 10.46 CUP t<sup>-1</sup> para el pimiento.
- En cultivo de pepino (40,7 kg m<sup>-3</sup>) garantizó mayores vo-

### REFERENCES/REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APAZA, L.G.; BLANCO, L.C.: "Evaluación de uniformidad del sistema presurizado de riego por goteo", *Apthapi*, 3(3): 740-750, 2017a, ISSN: 2519-9382.

APAZA, L.G.; BLANCO, L.C.: "Evaluación de uniformidad del sistema presurizado de riego por goteo", *Apthapi*, 3(3): 740-750, 2017b, ISSN: 2519-9382.

ASAE: *Field Evaluation of Microirrigation Systems*, Ed. American society of agricultural engineers, microirrigation committee, ASAE Standard EP458 DEC98 ed., USA, 1998, ISBN: 13: 978-1892769572.

BARBOSA, D.S.B.; COLOMBO, A.; DE SOUZA, G.. N.J.; BAPTISTA, B. da S.V.; ARAÚJO, A.: "ENERGY EFFICIENCY OF A CENTER PIVOT IRRIGATION SYSTEM", *Engenharia Agrícola*, 38(2): 284-292, 2018, ISSN: 1809-4430, E-ISSN: 0100-6916, DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>.

CARMENATES, H.D.; MUJICA, C.A.; DANIUBIS P. L.; PANEQUE, R.P.: "Evaluación de los parámetros de manejo de los sistemas de microirrigación mediante el criterio de Merriam y Keller", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(1): 37-40, 2014, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.

FERNÁNDEZ, M.D.: "Eficiencia en el uso del agua en distintos sistemas hortícolas", *Tecnambiente*, 16(160): 131-134, 2006, ISSN: 1133-4665.

LÓPEZ, M.; MUJICA, A.; BROWN, O.; CASTELLANO, L.: "Evaluación del consumo energético de las máquinas de pivotes centrales eléctricas en la empresa cultivos varios la Cuba provincia Ciego de Ávila", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(Esp.): 30-34, 2012, ISSN:

1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.

MINAG: Manual técnico de organopónicos y huertos intensivos, Ed. Agroinfor, Grupo Nacional de Agricultura Urbana, La Habana, Cuba, 176 p., 2000, ISBN: 959-246-030-2.

PÉREZ, S.M.; SÁNCHEZ, R.F.J.; RAMOS, H.M.; LÓPEZ, J.A.: "Modeling irrigation networks for the quantification of potential energy recovering: a case study", *Water*, 8(6): 234, 2016, ISSN: 2073-444, DOI: 10.3390/w8060234.

RÍOS, F.J.L.; TORRES, M.M.; RUIZ, T.J.; TORRES, M.M.: "Eficiencia y productividad del agua de riego en trigo (*Triticum vulgare*) de Ensenada y Valle de Mexicali, Baja California, México", *Acta universitaria*, 26(1): 20-29, 2016, ISSN: 0188-6266, DOI: 10.15174/au.

ROCAMORA, O.C.; ABADÍA, S.R.; CÁMARA, Z.J.; MELIÁN, N.A.; PUERTO, M.H.; RUIZ, C.A.: Eficiencia energética en regadío: Auditorías Energéticas en Comunidades de Regantes, Inst. Universidad Miguel Hernández. Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Costa Rica, 5 p., 2008.

RODRIGO, L.J.; HERNÁNDEZ, J.A.; GONZÁLEZ, J.: Riego localizado, Ed. Ediciones Mundi-Prensa, Centro Nacional de Tecnología de Regadíos, España, 403 p., 1992, ISBN: 978-84-7114-397-6.

SALAZAR, M.R.; ROJANO, A.A.; LÓPEZ, C.I.L.: "La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada", *Tecnología y ciencias del agua*, 5(2): 177-183, 2014, ISSN: 2007-2422.

STAMBOULI, T.; FACI, J.M.; ZAPATA, N.: "Water and energy management in an automated irrigation district", *Agricultural Water Management*, 142: 66-76, 2014, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/j.agwat.2014.05.001.

TARJUELO, J.M.; RODRIGUEZ, D.J.A.; ABADÍA, R.; CAMACHO, E.A.; ROCAMORA, C.; MORENO, M.A.: "Efficient water and energy use in irrigation modernization: Lessons from Spanish case studies", *Agricultural Water Management*, 162: 67-77, 2015, ISSN: 0378-3774.

TURÉGANO, P.V.: Modelización del comportamiento hidráulico de una subunidad de riego localizado, Universidad Politécnica de Valencia, PhD. Thesis, Valencia, España, 323 p., 2014.

\*Author for correspondence: Norge Tornés Olivera, e-mail: [ntorneso@udg.co.cu](mailto:ntorneso@udg.co.cu)

Received: 15/03/2019.

Approved: 19/12/2019.

Norge Tornés Olivera, Profesor Titular, Vicedecano de Formación, Universidad de Granma (UDG), Facultad de Ciencias Técnicas, Bayamo, Granma, Cuba, e-mail: [ntorneso@udg.co.cu](mailto:ntorneso@udg.co.cu)

Yarisbel Gómez Masjuan, Profesor Auxiliar, Departamento de Producción Agrícola, Universidad de Granma (UDG), Cuba, e-mail: [ygoomezg@udg.co.cu](mailto:ygoomezg@udg.co.cu)

Eduart Myor Robles, Ingeniero Agrícola, Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad de Granma (UDG), Cuba, e-mail: [emayorr@udg.co.cu](mailto:emayorr@udg.co.cu)

Oscar Brown Manrique, Profesor Titular, Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH), Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Cuba, e-mail: [obrown@ingenieria.unica.cu](mailto:obrown@ingenieria.unica.cu)

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

**AGRARIAN UNIVERSITY OF HAVANA**

Services offered  
by the department  
of Computer Sciences

*DESIGN AND ASSEMBLY OF NETWORK PROJECTS*  
*DESIGN AND ASSEMBLY OF EDUCATIONAL COMPUTER SCIENCES*

**Courses**

- Web Page Desing
- Programing Under Web Environment
- Programaming Under Windows Environment
- Geoggraphic Information System
- Multimedia Desing
- Educational Television