

Emisores, uniformidad de riego y rendimiento agrícola en pivotes para cultivos varios

INTRODUCCIÓN

La superficie regable de Cuba se estima en 2.7 millones de hectáreas de tierra. El área bajo riego supera las 450 mil ha, el 41 % de esta área se hace con técnicas de riego por aspersión (pivote central, riego localizado, aspersión portátil y semiestacionaria), de ellas el 28 % funcionan con energía eléctrica (MINAGRI, 2003).

La provincia de La Habana fue una de las primeras en instalar en sus áreas bajo riego las máquinas de pivote central, alcanzándose más de 10000 ha con esta técnica de riego con más de 300 máquinas, beneficiándose fundamentalmente la papa, otras viandas, hortalizas y vegetales, destinados fundamentalmente a la canasta básica.

Las máquinas de riego han llegado ya a la plenitud de su desarrollo mecánico (Tarjuelo, 1999). Ahora evolucionan hacia la mejora de la eficiencia. Los nuevos desarrollos se dirigen principalmente hacia los emisores. El objetivo es encontrar emisores que trabajen a baja presión, tengan un gran alcance y sean poco afectados por el viento.

En el mercado existe un sin número de tipos y modelos de emisores para pivotes centrales, los cuales se diferencian según el volumen aplicado en el tiempo (razón de aplicación), diámetro de mojado, presión requerida y costo. La selección de los aspersores debe orientarse a minimizar la dimensión de la bomba y, por consiguiente, el costo de operación. Además, tiene que aplicarse una lámina de agua de manera uniforme para satisfacer los requerimientos de riego y, a la vez, evitar la escorrentía superficial o pérdida del agua que escurre fuera del alcance de las plantas y que posteriormente repercute en el rendimiento del cultivo. Para cumplir estas metas es importante considerar la disponibilidad de flujo, tamaño del pivote central, tipo de suelo (textura y velocidad de infil-

Resumen / Abstract

El presente trabajo se realiza con el objetivo de encontrar criterios que definan el empleo apropiado de los diferentes tipos de difusores, de evaluar la calidad del riego y de determinar la posible relación del tipo de emisor empleado y la uniformidad del riego en el rendimiento del cultivo de la papa. Los resultados no demuestran una relación entre el tipo de emisor con la calidad del riego ni con el rendimiento. En cambio se evidencia con claridad una dependencia estrecha entre la uniformidad del riego y el rendimiento de los cultivos.

Palabras clave: riego, pivote central, uniformidad, emisores, rendimiento.

This paper deals with developing criteria to find proper use of different types of diffusers, to evaluate irrigation quality and to determine the possible relationship between the working emitter type and irrigation uniformity to the potato crop yield. Results show that the emitter type is neither related to the irrigation quality nor related to crop yield. On the other hand a tight dependence is clearly observable between the irrigation uniformity and the crop yield.

Keywords: irrigation, central pivot machine, uniformity, emitters, crop yield.

Dr. Ramón Pérez Leira. Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos Habana.

Correo: tecnico@hidrohab.hidro.cu

José Luis Blanco Cruz. Ing. Hidráulico. Complejo Palacio de las Convenciones de la Habana. Playa. Ciudad de la Habana.

Correo: jlbccu@yahoo.es

Nelson Piña Gómez. Ing. Hidráulico. UM 1925. Ejército Occidental. Ciudad de la Habana

Ángel Guillermo Pérez Gil. Ing. Riego y Drenaje. Empresa Cultivos Varios "Miguel Soneira Ríos". Güines. La Habana.

tración), clima (evapotranspiración y viento) y los requerimientos de agua de los cultivos.

Los difusores Super Spray, el Nelson Sprayhead Serie 3000, el Nelson Serie 3000 Rotator, la boquilla Unirain y la boquilla cubana fabricada por el Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD) son algunos de los emisores más utilizados en la actualidad en las máquinas de pivote central que funcionan en el país, las cuales a su vez, son de diversos modelos como tales como: Irrimec, Ballama y Valmont, entre otras.

En la actualidad, la opinión de los especialistas en riego en el país diverge en torno a la utilización de los distintos emisores, ya sean de fabricación cubana o de procedencia extranjera.

La correcta selección y utilización de los dispositivos de emisión en las máquinas de pivote central de acuerdo a las condiciones de suelo, clima y la identificación de los factores que afectan el régimen de explotación de esta técnica, permitirían incrementar la calidad del riego en el cultivo de la papa y lograr con ello un riego más eficiente y por tanto obtener mayores rendimientos.

Para dar respuesta a esta problemática, se realiza el presente trabajo en la ECV "Miguel Soneira Ríos" ubicada en el municipio Güines, provincia La Habana con los siguientes objetivos:

Objetivos.

- ◆ Determinar la calidad del riego en ocho máquinas de pivote central a partir de diferentes criterios.
- ◆ Analizar el costo por hectárea asociado a la colocación de diferentes tipos de emisores en el pivote.
- ◆ Cuantificar el rendimiento del cultivo de la papa y su posible relación con el tipo de emisor empleado y la uniformidad del riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio fue desarrollado en su totalidad en la Empresa de Cultivos Varios "Miguel Soneira Ríos" perteneciente al municipio Güines, Provincia La Habana.

Se realizaron evaluaciones pluviométricas a 8 máquinas con diferentes dispositivos de emisión según lo establecido por la norma ISO 11545 (1994).

En las tablas 1, 2 y 3 se muestra la denominación de los sistemas y sus características fundamentales, así como las características de la bomba instalada en cada sistema.

Criterios para evaluar la calidad del riego en los pivotes con diferentes dispositivos de emisión.

Con las lecturas recogidas en cada máquina se determinaron los indicadores reflejados en las expresiones 1; 2; 3 y 4.

- La Uniformidad de Distribución del cuarto más bajo

(UD25%) definida por Keller y Bliesner (1990) de la siguiente forma:

$$UD_{25\%} = 100 \frac{V_{25\%}}{V} = \frac{100}{V} \left(\frac{\sum Li \cdot Si}{\sum Si} \right)_{25\%} \quad [1]$$

donde:

$V_{25\%}$ = valor promedio ponderado de las láminas en el 25 % de las observaciones menores.

Li = Lámina de agua recogida en el colector i .

Si = distancia desde el colector i hasta el punto del pivote.

- El Coeficiente de Uniformidad de Heermann y Hein (1968) se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$CU_H = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Vi - V| \cdot Si}{\sum_{i=1}^n Vi \cdot Si} \right] \quad [2]$$

- El Coeficiente de Uniformidad de Variación (CU_v) de Bremond y Molle (1995) definido como:

$$CU_v = 100 \left[1 - \frac{1}{\frac{\sum (Li \cdot Si)}{\sum Si}} \cdot \alpha \right] \quad [3]$$

donde:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sum \left[Li - \frac{\sum (Li \cdot Si)}{\sum Si} \right]^2 \cdot Si}{\sum Si}}$$

CU_H : Coeficiente de Uniformidad de Heermann y Hein (%).

CU_v : Coeficiente de Uniformidad de Variación (%).

n : número de colectores utilizados en el análisis de los datos.

i : número de orden asignado para un colector particular, comenzando por el colector más próximo al punto del pivote ($i = 1$) y terminando por $i = n$ para el colector más alejado del pivote.

Vi : volumen o lámina de agua recogida en el colector " i ".

Si : distancia desde el colector " i " hasta el punto del pivote

V : volumen promedio o lámina del agua recogida.

En este caso el volumen promedio se pondera con respecto a las distancias a través de la expresión:

Tabla 1- Características de las bombas instaladas en las máquinas evaluadas.

Nº	Sistema	Modelo Máquina	Modelo Motor	Potencia (kw)	Modelo Bomba	Gasto (l/s)	Carga (m)
1	Guadalupe I	Ballama	Chino	75	12 Hs 135/4	63	35
2	Guadalupe II	Ballama	Siemen	85	12 Hs 135/4	65	33
3	Pinillo I	Agrinsal	Cuñat	52	Vg 105/6	37	28
4	C.Piedra III	Valmont	Cuñat	104	12 Hs 135/4	46.4	35
5	Venezuela	Valmont	Cuñat	86	Caprari 8	67.4	36
6	Bahuma III	Valmont	Cuñat	86	Caprari 8	67.4	35
7	Bahuma IV	Irrimec	Cuñat	86	Caprari 8	62.7	36
8	Pino I	Fockink	US Motor	100	12 Hs 135/4	58	35

Tabla 2- Características fundamentales de las 8 máquinas evaluadas.

Nº	Sistema	Longitud (m)	Longitud Consola (m)	Presión a la entrada (m)
1	Guadalupe I	430	25	30.6
2	Guadalupe II	430	25	44.2
3	Pinillo I	311	20	20.5
4	C.Piedra III	337	19.4	35.0
5	Venezuela	360	25	20.4
6	Bahuma III	360	25	25.2
7	Bahuma IV	408	16	22.4
8	Pino I	380	20	30.6

Nota: Al sistema N0 2 se le realizaron dos evaluaciones a distintas velocidades de trabajo.

Tabla 3- Características fundamentales de las 8 máquinas evaluadas.

Nº	Sistema	Tipo de emisor	Velocidad avance (%)	Altura de la boquilla (m)	Espaciamiento (m)
1	Guadalupe I	Boquilla Española	40	1.4	2.15
2.1	Guadalupe II	Boquilla IIRD	25	1.45	2.15
2.2	Guadalupe II	Boquilla IIRD	40	1.45	2.15
3	Pinillo I	Rotator	25	1.2	2.87
4	C.Piedra III	Spray Nelson	25	1.2	2.87
5	Venezuela	Rotator	30	1.2	2.87
6	Bahuma III	Boquilla IIRD	30	1.2	2.87
7	Bahuma IV	Rotator	25	1.2	3.00
8	Pino I	Súper-Spray	25	1.4	2.30

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad [4]$$

También se determinó la Altura Media Recogida (AMR), Área Regada Adecuadamente (ARA), Área Regada Excesivamente (ARE) y Área Regada Insuficientemente (ARI) utilizados por Montero y cols. (1997) y definidos de la siguiente forma:

La expresión para determinar la AMR es la misma que se utiliza para determinar V, por lo tanto $AMR = V$.

A partir de este parámetro definió:

$$0.85 (AMR) \leq ARA \leq 1.15 (AMR)$$

$$ARE > 1.15 (AMR)$$

$$ARI < 0.85 (AMR)$$

quedando: $ARA + ARE + ARI = 100 \%$

Para calcular el ARA, el ARE y el ARI se partió del criterio de que cada lectura es representativa de un área en forma de anillo que esta delimitado por sus dos lecturas vecinas (anterior y posterior) y que esta área aumenta en la medida que su distancia al pivote sea mayor. Por lo tanto si se suman todas las áreas de los anillos vinculados a las láminas que exceden en más de un 15 % a la AMR, se obtendría el valor del ARE. De igual forma se procedió para la determinación del ARA y el ARI con las lecturas que estaban dentro de los límites expuestos. Como comprobación final, la suma de estos tres indicadores (ARA, ARE y ARI) debe ser igual al área total evaluada en el pivote y la división de cada uno de ellos por esta área total evaluada nos muestra los porcentajes. La expresión matemática utilizada para el cálculo del área anular correspondiente a cada lectura es la siguiente:

$$A_{ai} = \pi (R_2^2 - R_1^2) \quad [5]$$

donde:

A_{ai}: Área anular (expresada en m²) correspondiente a la lectura L_i.

R₂- Radio exterior del anillo (expresado en metros) calculado como: S_i + e/2.

R₁- Radio interior del anillo (expresado en metros) calculado como: S_i - e/2.

e- Espaciamento entre colectores (3 metros).

Análisis del costo de inversión por hectárea de los diferentes dispositivos.

A partir de todos los coeficientes obtenidos en las máquinas evaluadas y teniendo en cuenta el modelo de la máquina y el dispositivo de emisión instalado en ella, se determinó el costo por cada 100 m de tubería, teniendo

presente el espaciamento entre los emisores en los pivotes evaluados.

Solo se tuvo en cuenta el precio unitario del emisor junto con los bajantes y el resto de los aditamentos.

Los precios de cada dispositivo fueron tomados de la firma UNIRAIN.SA (www.unirain.com) y (www.irrigationdistributors.com) vigentes desde el 1/enero/2005, y el precio de la boquilla IIRD, el bajante y el resto de sus componentes fueron tomados del Catálogo de Productos (IIRD, 2005),

Todos los precios se llevaron a moneda libremente convertible (CUC) a partir de la tarifa del Banco Central de Cuba (7/mayo/2005):

$$1 \text{ Dólar Estadounidense (USD)} = 0.8935 \text{ CUC}$$

$$1 \text{ Euro} = 1.0957 \text{ CUC}$$

Luego de obtener el precio de los emisores y el resto de los accesorios por 100 m de pivote, se realizó un análisis comparativo de este con el CUV y con los rendimientos obtenidos en cada máquina durante la campaña 2004-2005.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la Calidad del Riego.

Un resumen de los resultados de los diferentes indicadores de la calidad del riego se puede apreciar en la tabla 4.

Como se puede apreciar, existe una correspondencia en los resultados del CUV, la UD_{25%} y el ARA. Según los resultados de este trabajo (tabla 4), a pesar de haber obtenido un CUV (promedio) de 83,23 % (valor aceptable), existe un 20.9 % de las áreas regadas con pivotes de baja presión que reciben menos del 85 % de la norma de riego que llega al suelo (ARI).

Si se observan los datos de manera individual para cada máquina, esta conclusión es más evidente (los valores máximos y mínimos de cada indicador se señalan en la tabla para mejor comprensión).

Existen pivotes con CUV de 86.73, 86.6 y 85.44 % (Guadalupe I, Guadalupe II al 40 % y Venezuela, respectivamente), lo cual da un resultado aceptable y precisamente son estos los que menos área riegan de forma insuficiente (ARI), con valores entre el 9 y 16 %.

Los pivotes con menor resultado de CUV son los que menos área riegan adecuadamente, con la excepción de Corral de Piedra III que lo hace para un 61%.

En la figura 1 se refleja el comportamiento de 4 de los indicadores para los 8 sistemas evaluados. Se puede apreciar que la mayor sensibilidad la ofrece el ARA, seguida de la UD_{25%}, CUV y por ultimo el CUV como coeficiente menos sensible a las afectaciones en la calidad del riego.

Tabla 4- Valores de CUH, CUV, UD25%, ARA, ARE y ARI para las máquinas evaluadas.

Nº	Sistema	Emisor	V (m/s)	Dir	CU _H (%)	CU _V (%)	UD _{25%} (%)	ARA (%)	ARE (%)	ARI (%)
1	Guadalupe I	Boq. Española	1.45	120 ⁰	86.73	76.43	83.42	79	10	11
2.1	Guadalupe II	Boquilla IIRD	1.50	120 ⁰	84.39	78.56	81.29	61	15	24
2.2	Guadalupe II	Boquilla IIRD	-	-	86.60	80.06	81.46	80	11	9
3	Pinillo I	Rotator	1.47	45 ⁰	83.30	<u>75.41</u>	76.91	59	16	25
4	C. Piedra III	Spray Nelson	3.23	90 ⁰	<u>82.41</u>	<u>73.73</u>	<u>69.71</u>	61	18	21
5	Venezuela	Rotator	3.06	45 ⁰	85.44	79.63	77.89	67	17	16
6	Bahuma III	Boquilla IIRD	3.60	45 ⁰	<u>80.71</u>	<u>73.05</u>	<u>73.18</u>	<u>52</u>	21	27
7	Bahuma IV	Rotator	4.70	120 ⁰	83.57	77.20	<u>71.01</u>	<u>53</u>	21	26
8	Pino I	Súper-Spray	3.85	120 ⁰	<u>82.19</u>	76.28	74.47	<u>52</u>	19	29
Promedios					83.93	76.7	76.59	62.7	16.4	20.9

V: velocidad del viento.

Dir: Dirección del viento.

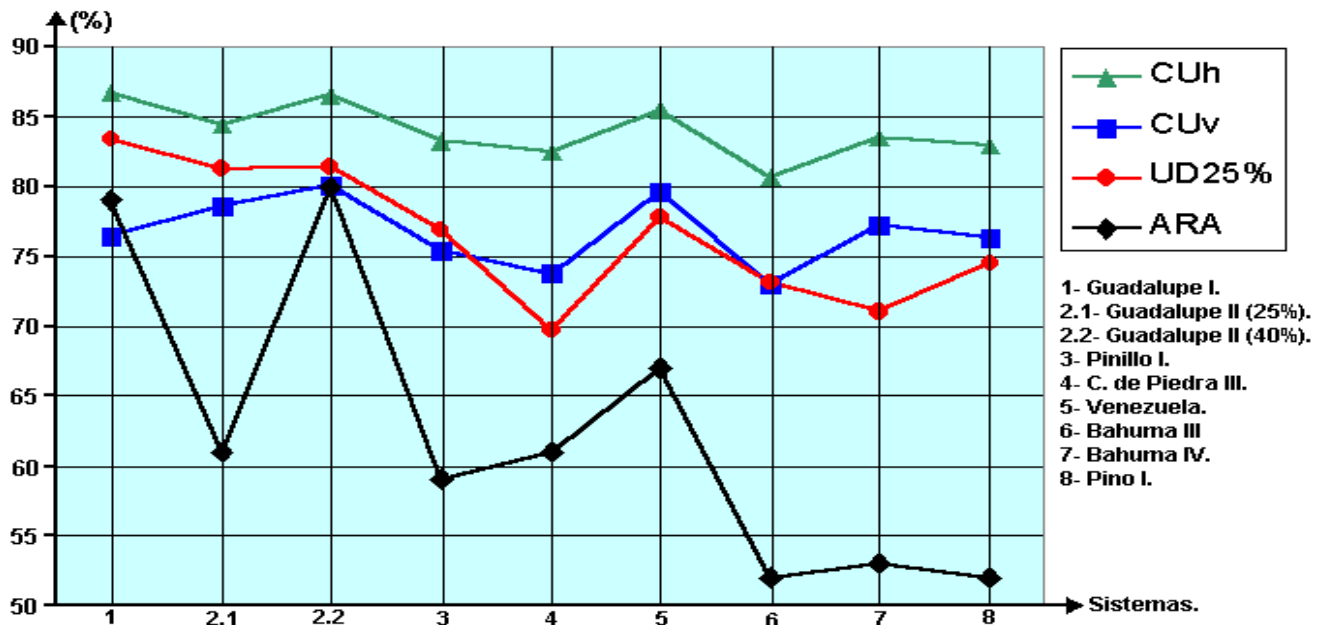


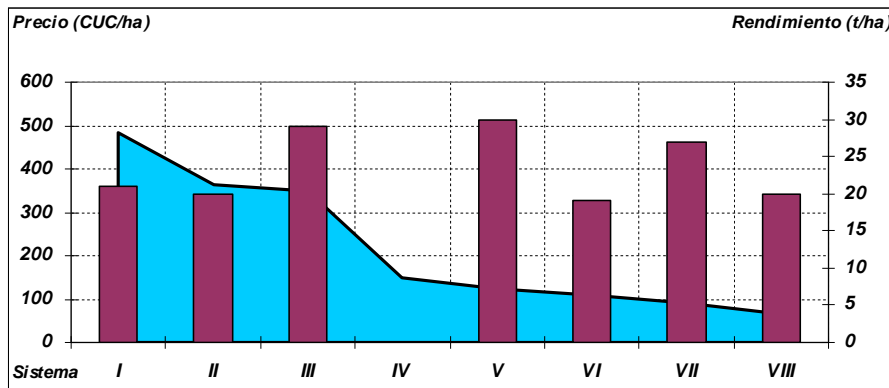
Figura 1- Comportamiento de los distintos indicadores de uniformidad obtenidos.

Tabla 5- Precio de los emisores por cada 100 m de tubería y por hectárea.

Sistema	Emisor	Espaciamiento	Precio por cada 100m de pivote. (CUC)	Precio Total por hectárea (CUC)
Guadalupe I	Boquilla Unirain	2.15	385.113	122.65
Guadalupe II	Boquilla IIRD	2.15	280.302	89.27
Pinillo I	Rotator	2.15	1523.851	485.30
C. de Piedra	Spray Nelson	2.87	339.752	108.20
Venezuela	Rotator	2.87	1140.431	363.19
Bahuma III	Boquilla IIRD	2.87	209.774	66.81
Bahuma IV	Rotator	3.00	1091.274	347.54
Pino I	Super-Spray	2.24	467.542	148.90

Tabla 6- Rendimientos en la papa en la campaña 2004-2005 en Güines.

Sistema	Rendimiento (T/ha)
Guadalupe I	30
Guadalupe II	27
Pinillo I	21
Corral de Piedra III	19
Venezuela	20
Bahuma III	20
Bahuma IV	29



I	Rotator ()
II	Rotator (2.87m)
III	Rotator ()
IV	Super Spray ()
V	Unirain ()
VI	Spray Nelson ()
VII	Boquilla IIRD ()
VII	Boquilla IIRD ()

Figura 2- Comparación entre el precio de los dispositivos y el rendimiento agrícola por hectárea.

Resultado del costo de inversión por hectárea de los diferentes dispositivos y los rendimientos.

El precio total del bajante con todos sus aditamentos, el precio de colocar los emisores por cada 100m de tubería de pivote y el precio total por hectárea se muestran en la tabla 5.

Como se puede apreciar los pivotes equipados con dispositivo "rotator" generan los mayores valores, mientras que los pivotes con boquillas difusoras cubanas resultan los menos costosos.

El resultado de los rendimientos del cultivo de la papa para 6 de los 7 pivotes estudiados se puede apreciar en la tabla 6. El sistema Pino I ha sido excluido de esta relación por encontrarse sembrado de otro cultivo, lo cual dificultaría las comparaciones analíticas.

Resultado del costo de inversión por hectárea de los diferentes dispositivos y los rendimientos.

En la figura 2 se muestran los resultados superpuestos del precio de instalación de los emisores por hectárea para cada sistema (donde incide el tipo de emisor y el espaciamiento de colocación) y el rendimiento agrícola obtenido para cada caso (simbolizado con barras rojas).

Como puede observarse no existe ninguna correspondencia entre el precio o tipo de dispositivo y el rendimiento agrícola obtenido.

Relación entre el precio de los dispositivos y el Coeficiente de Uniformidad de Variación.

Al analizar la distribución del precio por hectárea de pivote equipado con los diferentes emisores, se puede plantear que: la variación entre cada una de las variantes es grande ya que oscila entre 485 y 66 CUC/ha. A diferencia de esto el rango de variación del CUV para cada una de las ocho variantes es pequeño si se observa que el mismo tiene valores extremos entre 73.05 y 79.63 %.

De esta observación, se puede resumir que si se toma como criterio la uniformidad de riego para definir el tipo de emisor a colocar en un pivote, no se justifica económicamente el empleo de emisores de procedencia extranjera, que son los que han resultado más costosos en este análisis (figura 3).

Relación entre el Coeficiente de Uniformidad de Variación (CUV) vs. Rendimiento.

El comportamiento del CUV con el Rendimiento se realiza a través de los resultados obtenidos en la figura 4.

En este resultado se puede comprobar que existe una correspondencia más cercana entre el CUV y el Rendimiento en los pivotes evaluados como se aprecia en la figura 4, por tal motivo se puede plantear que el CUV sí es un elemento que influye en el rendimiento de los cultivos, a diferencia del tipo de emisor.

No obstante estos datos constituyen un resultado preliminar que deberán ser analizados con mayor profundidad para una muestra mayor y con el empleo de herramientas estadísticas.

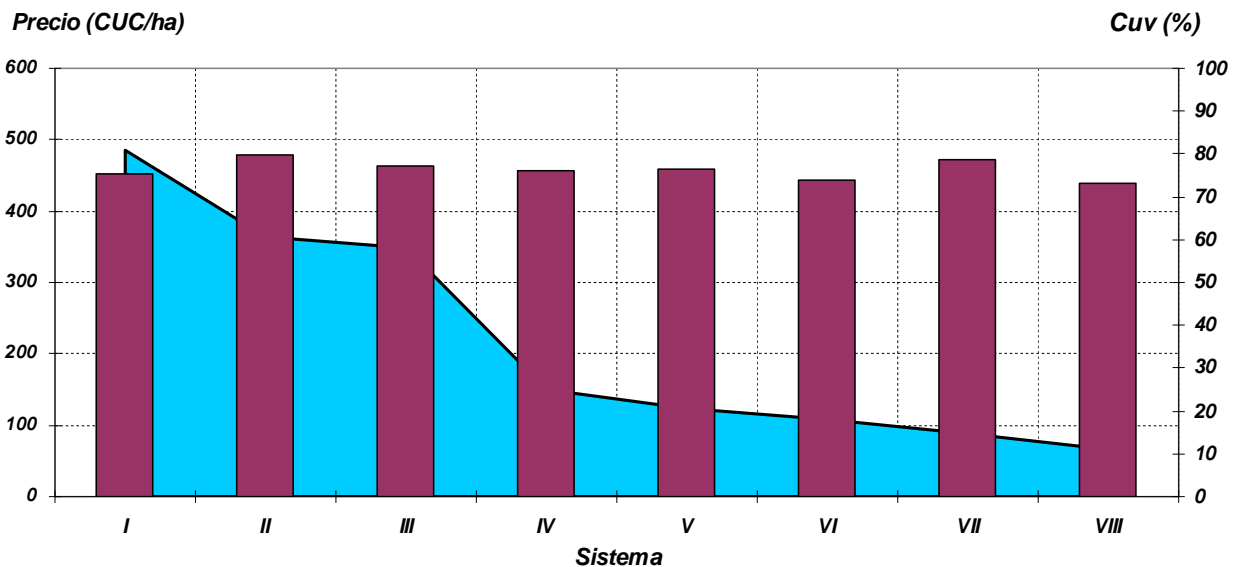


Figura 3- Comparación entre el precio de los dispositivos y el Coeficiente de Uniformidad de Variación.

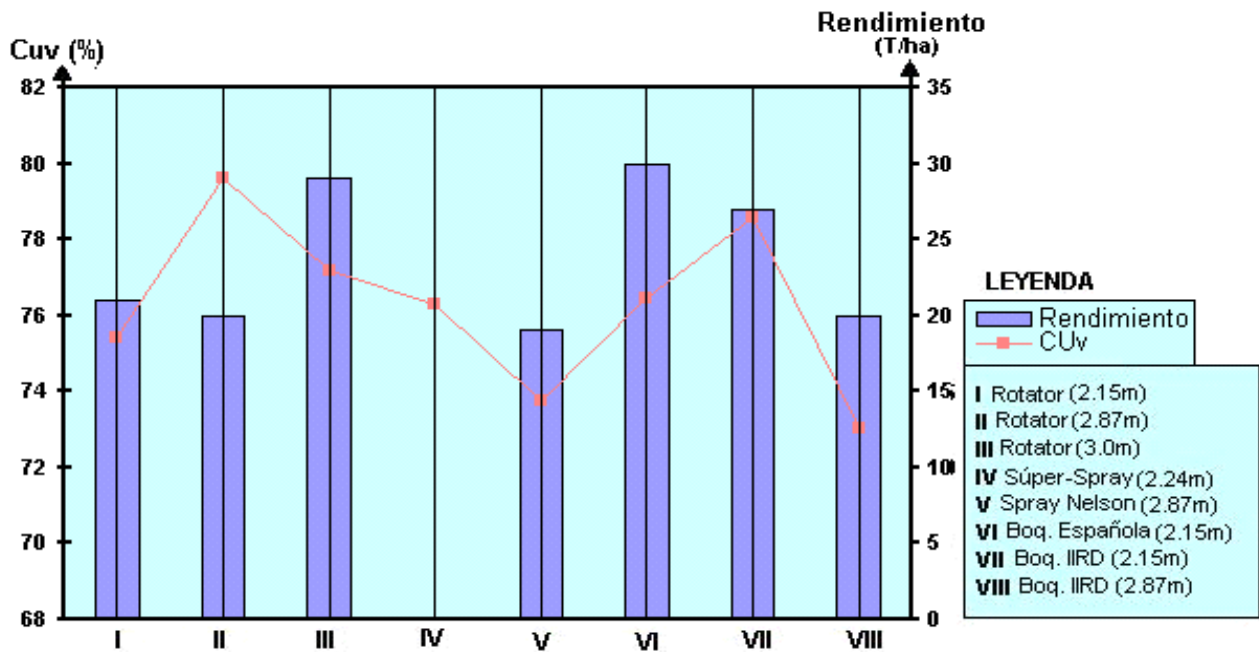


Figura 4- Comportamiento CUV vs. Rendimiento.

CONCLUSIONES

1. Del análisis de la calidad de riego en las 8 máquinas de pivote central se obtuvo como valores promedio:

$CU_H = 83.93\%$, $CU_V = 76.7\%$, $UD_{25\%} = 76.59\%$,
 $ARA = 62.7\%$, $ARE = 16.4\%$, $ARI = 20.9\%$.

2. Los mayores indicadores de calidad de riego se obtuvieron con las máquinas equipadas con: boquilla UNIRAIN (86.73%), boquilla IIRD (86.6%) y Rotator (85.44%).

3. Se observó un amplio rango de precios de los dispositivos de emisión en los pivotes (desde 485.30 CUC/ha para el Rotator hasta 66.81 CUC/ha para la boquilla IIRD). El tipo de emisor no demostró una influencia directa en la calidad del riego ni en el rendimiento del cultivo, sin embargo sí se observa una dependencia entre la calidad del riego y el rendimiento del cultivo.

4. A los efectos de este estudio, no se justifica desde el punto de vista económico el uso de emisores extranjeros en las máquinas de pivote central debido a que su influencia en la calidad de riego y el rendimiento del cultivo no es significativa.

RECOMENDACIONES

1. Ampliar este estudio a un mayor número de sistemas de riego con distintos emisores para obtener una mayor representatividad de la calidad de riego en las máquinas de pivote central.

2. Incorporar a este estudio, análisis encaminados a determinar la eficiencia de los sistemas de riego.

3. Realizar un análisis de correlación entre las variables Uniformidad de riego, Precio y Rendimiento, para justificar estadísticamente las conclusiones a las que se arri-

ban en esta investigación.

REFERENCIAS

- BREMOND, B. y MOLLE, B. Characterization of rainfall under pivot: influence of measuring procedure. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 121 (5), 347-353, 1995.
- HEERMANN, D.F. y HEIN, P.R. Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler irrigation system. *Transaction of the ASAE*, St. Joseph. 11 (1), 11-15, 1968.
- IIRD. Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje. Catálogo de productos. Ciudad de la Habana. 2005
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION (ISO). Equipos agrícolas para el riego, pivotes centrales y máquinas de avance frontal equipadas con boquillas difusoras o aspersores. Determinación de la uniformidad de distribución del agua: 11545, 1994.
- KELLER, J. y BLIESNER, R.D. Sprinkle and trickle irrigation. A VI Book. Van Nostrand Reinhold. New York. 652, 1990.
- MINAGRI. Balance de áreas bajo riego. Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje. Ciudad de la Habana, 2002.
- MONTERO, J.; TARJUELO, J.M.(P); TÉBAR, J.I.; LOZANO, F. y HONRUBIA, F.T. Análisis de la distribución de agua en riegos con equipos pivote. XV Congreso nacional de riegos, Lérida. 481-490, 1997.
- TARJUELO, J. M. El riego por aspersión y su tecnología. Editorial Mundi-Prensa. 2da Edición, 200-491, 1999.