Costos de operación en los sistemas de riego mecanizado de pivote central

INTRODUCCIÓN

Existen actualmente en el mundo más de 10 millones de hectáreas regadas con la tecnología del pivote central. En Cuba se introducen los primeros pivotes "Fregat" (de tracción hidráulica) en 1977, procedentes de la antigua URSS, y muy pronto fue una técnica aceptada por los productores y generalizada en todo el país.

Ya en la década de 1990 se introdujeron en el país otros modelos de máquinas dotadas de motores eléctricos las cuales resultaban más eficientes. La velocidad de estas máquinas supera aproximadamente tres veces a las de accionamiento hidráulico, además de ser más ligeras, ocasionar menos pérdidas de agua y presentar menor frecuencia de roturas. Por estas y otras diversas razones en la década de los 90 se comenzó a llevar a cabo un proyecto sustitución de estas máquinas de accionamiento hidráulicos por las nuevas máquinas dotadas de motores eléctricos, a este proyecto se le llamó Electrificación y el desarrollo del mismo en los últimos cinco años ha contribuido notablemente al incremento de la eficiencia de operación de estos sistemas de riego. Al culminar el año 2006 el área bajo riego con esta técnica ascendía a 20 250.52 ha.

La correcta selección de la longitud y el tipo de emisor a colocar en una máquina de pivote central pudiera contribuir a hacer más eficiente la operación de esta técnica de riego. Basado en esta hipótesis se realiza el presente trabajo con los siguientes objetivos:

– Diseñar hidráulicamente seis variantes de máquinas de pivote de diferentes longitudes para el riego de los cultivos papa y maíz.

– Determinar los costos de operación (costo energético, costo del agua, costo de mantenimiento, costo de mano de obra) para las todas las variantes definidas, equipadas con emisores "Spray " y "Rotator".

Resumen / Abstract

Importantes inversiones ha realizado el país recientemente para elevar el nivel tecnológico del riego. Las máquinas de pivote central sustentan un peso importante dentro de esas inversiones. Sin embargo, siguen siendo insuficientes los estudios y la información relacionada con los costos de operación de estos sistemas de riego. Con el objetivo de analizar el comportamiento de los costos de operación en las máquinas de pivote central bajo diferentes condiciones de explotación se realiza el presente trabajo. Luego de un análisis de variantes, los resultados muestran una tendencia a la disminución de los costos de operación en la medida que aumenta el área vinculada al sistema de riego y una reducción de los mismos al utilizar motores eléctricos para bombeo en comparación con motores de combustión interna.

Palabras clave: costos, operación, riego, pivote central, energía.

Important investments have been realized in the country to enhance technological level of irrigation practice. Central pivot machines have been given considerable importance in the investments. Nevertheless, studies and information are still insufficient regarding operation costs of these irrigation systems. Analyzing operation costs of central pivot machines under different exploitation conditions is the objective of the present paper. After a thorough analysis of alternatives results show a tendency to reduction of operation costs when the area associated to the irrigation system is increased. Also a reduction is obtained when electrical motors are employed instead of those of internal combustion.

Keywords: cost, operation, irrigation, central pivot, energy.

Dr. Ramón Pérez Leira, Profesor Titular. CIH. Fac. Ing. Civil. CUJAE.
Ing. Cynthia Bermúdez Huete, Recién graduado. CIH. Fac. Ing. Civil. CUJAE.
Ing. Amhed Leandro Valdés Macías, Recién graduado. CIH. Fac. Ing. Civil. CUJAE.

– Realizar análisis comparativos de las 12 variantes conformadas (dos fuentes de energía, tres longitudes de pivote con dos tipos de emisores) para definir las mejores condiciones de explotación y de diseño de un pivote.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo propuesto fue conducido en cuatro etapas, que fueron las siguientes:

1) Estudio del régimen de riego de proyecto.

Para el cálculo del régimen de riego se utilizó la norma NC: 48-46 (1987), con la utilización de la evapotranspiración de referencia en lugar de la evapotranspiración potencial, debido a la utilización de los coeficientes del cultivo (Kc), según plantea la FAO (2006).

2) Diseño hidráulico del equipo de pivote central.

El cálculo se realizó para tres longitudes (250m, 350m y 450m), con longitudes de tramo de 50 m entre torres. El diseño de la tubería porta emisores así como los requerimientos de potencia y consumos de energía para cada variante de pivote fueron realizados según las metodologías propuestas por Tarjuelo (2007).

3) Volumen bruto de agua.

Realizado el balance hídrico de los cultivos, el consumo de energía y agua en los riegos pudo ser cuantificado para el análisis económico. Para obtener el volumen bruto anual de agua utilizado para dar los riegos, de acuerdo con las condiciones de funcionamiento y eficiencia del sistema de riego, fue utilizada la siguiente ecuación (1):

$$VBa_i = \sum_{d=1}^{n} \frac{Q_0 * 3600 * H * NR}{1000} \quad (1)$$

Donde:

VBa_i = Volumen bruto de agua consumida en el año con los riegos (m^3)

Q_0 = Caudal a la entrada del pivote (L/s)

H = Número de horas que demora la máquina en dar una vuelta para aplicar un riego (h)

NR = Número de riegos necesarios para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo

d = Decenas

4) Cálculo de los costos variables.

Los costos variables dependen de la operación del sistema. En el cálculo de los costos variables anuales de riego, se incluyen los costos de energía, costos de mantenimiento, los costos de mano de obra y el costo del agua (2).

$$CV_a = C_{ae} + C_{aw} + C_{am} + C_{amo} \quad (2)$$

Donde:

CVa = Costo variable anual ($ ha^{-1} $año^{-1}$)

Cae = Costo anual de energía consumida ($ ha^{-1} $año^{-1}$)

Caw = Costo anual de agua ($ ha^{-1} $año^{-1}$)

Cam = Costo anual de mantenimiento ($ ha^{-1} $año^{-1}$)

Camo = Costo anual de mano de obra ($ ha^{-1} $año^{-1}$)

4.1. Costo anual de la energía consumida.

Para la obtención del costo anual de bombeo se seguirá la siguiente metodología.

1. Cálculo de la potencia demandada por la máquina ($P_{máq}$):

$$P_{máq} = No.Torres * Potencia\,Motorreductor * Cs \quad (3)$$

Donde:

$P_{máq}$ = Potencia demandada por la máquina (kw)

Cs = Coeficiente de simultaneidad (Cs = 0.7, según Tarjuelo, 2007) (decimal)

Para la Máquina de 250 m de longitud se colocaron motorreductores de baja potencia (0.6 hp) en las dos primeras torres y de media potencia (0.75 hp) en las tres últimas torres.

– 36 rpm (0.6 hp). Vel. = 2,50 m/min
– 44 rpm (0.75 hp). Vel. = 3,05 m/min

Para la de 350 m de longitud se colocaron motorreductores de baja potencia (0.6 hp) en las tres primeras torres y de alta potencia (1.2 hp) en las cuatro últimas torres.

– 36 rpm (0.6 hp). Vel. = 2,50 m/min
– 68 rpm (1.2 hp). Vel. = 4,72 m/min

Para 450 m de longitud se colocaron motorreductores de baja potencia (0.6 hp) en las cuatro primeras torres y de alta potencia (1.2 hp) en las cinco últimas torres.

– 36 rpm (0.6 hp). Vel. = 2,50 m/min
– 68 rpm (1.2 hp). Vel. = 4,72 m/min

Cálculo del consumo eléctrico por riego (EE)

$$EE = \left(1.02 * \left[\left(\frac{Q * H_t}{102 * Efb * Efm} \right) + \frac{P_{máq}}{Efmrr} \right] \right) * T \quad (4)$$

Donde:

EE = Consumo eléctrico por riego (kw-h)

Q = Caudal a la entrada del pivote (L/s)

Ht = Carga carga dinámica total (20 m)

Efb = Eficiencia de la bomba (decimal), (70%)

Efm = Eficiencia del motor (decimal), (90%)

$P_{máq}$ = Potencia demandada por la máquina (kw)
Efmrr = Eficiencia del motoreductor (Efmrr = 0.85)
T = Tiempo en que demora la máquina en dar un riego (h)

El número de horas de funcionamiento al año (H) se ha calculado para los dos cultivos en análisis teniendo en cuenta el tiempo en que demora la máquina en pasar por un punto para entregar la norma requerida por el cultivo en el régimen de riego de proyecto y el número de riegos necesarios para cada profundidad radical.

Para la obtención de la energía eléctrica consumida por el sistema motobomba y la máquina de riego durante su traslación se realizó una fragmentación de las horas que demora la máquina en dar un riego para aplicar una norma determinada.

Al concebir las horas de trabajo de la máquina de 15h/día y tratando de no realizar el riego durante el "Horario Pico" (5:00PM hasta las 9:00PM) se empezará a regar a partir de las 10:00PM hasta las 6:00AM que esto equivale a unas 8 horas de trabajo y después desde las 6:00AM hasta la 1:00PM que serían las 7 horas restantes para completar la jornada de trabajo de la máquina, esta fragmentación se puede observar en la tabla I.

Tabla I. Fragmentación de las horas de riego en horas - día y horas - madrugada.

Cultivo	t (h/riego)*	t Día (h)	t Madrugada (h)
Papa	33.10	14.0	19.10
	41.71	17.71	24.0
	48.44	21.0	27.44
Maíz	42.61	18.61	24.0
	85.91	37.91	48.0
	103.58	47.58	56.0

✡ Tiempo en que demora el pivote en dar un riego para la norma a entregar.

Con el valor del consumo eléctrico por riego de la máquina se calcula el costo de la energía eléctrica multiplicando el resultado de la ecuación (4) por las tarifas eléctricas correspondientes a cada horario establecido de riego.

$$Cae = EE * \text{Tarifa Eléctrica} \quad (5)$$

Donde:
Cae = Costo anual de energía eléctrica consumida ($)
EE = Consumo eléctrico por traslación de la máquina (kw-h)
Tarifa Eléctrica = Consumo Día (6 AM - 5 PM), $ 0.063/kw-h, Consumo Madrugada (10 PM - 6 AM), $ 0.035/kw-h según la Resolución 311 del Ministerio de Finanzas y Precios.

Para el caso del motor de combustión interna (Diésel) se determinó mediante el producto del tiempo en el año para aplicar el volumen bruto anual de agua para el riego por el consumo horario de diesel presentado por el motor del conjunto motobomba.

$$Cd = P * C_S * 0.00125 * \sum_{mes=1}^{12} H \quad (6)$$

Donde:
C_d = Consumo de diesel (L-año^{-1})
P = Potencia del motor (KW)
H = Horas de funcionamiento mensual (h)
C_S = Consumo específico del motor diesel (g KW-1 h-1)
0.00125 = lResultado de la utilización del peso específico del Diesel, en este caso (0.80 g*cm^{-3}) para llevar a unidad de volumen (L) el producto del consumo energético y el consumo específico del motor diesel.

4.2. Costo anual del agua.

Para analizar el valor del agua de riego se multiplico la ecuación 2.20 por la tarifa de $ 9.30 al año por cada L/s de capacidad instalada en uso (aprobado por la Resolución P-6-2000 del MFP) para el riego y abasto animal con agua subterránea.

Al considerar que la tarifa vigente en la Resolución P-6-2000 del MFP el cobro del agua se realiza por capacidad instalada al año y en la misma no hay una valoración real del consumo del agua, se decidió realizar el análisis de este costo suponiendo dos tarifas no reglamentadas con el objetivo de obtener los resultados más lógicos para el análisis: $ 0.01/m^3 y $ 0.05/m^3.

4.3. Costo anual de mantenimiento.

El costo de mantenimiento corresponde al costo anual necesario para mantener el bien capital en condiciones de uso, varía en función del número de horas anuales de operación en dependencia de la recomendación del fabricante.

$$C_{am} = \frac{T_m * PS}{100} \quad (5)$$

Donde:
C_{am} = Costo anual de mantenimiento ($ año^{-1})
T_m = Tasa anual de mantenimiento. Tabla II (Para el cálculo se tomó el valor medio)
PS = Precio de adquisición e instalación del equipamiento de riego ($)

Tabla II. Vida útil y tasas de mantenimiento expresadas en porcentaje del valor inicial (% Vi) de los principales componentes de un sistema de riego de pivote central.

Componente del sistema de riego.	Vida útil (años)	Tm* (% Vi)
Aspersores Fijos	7-10	5.0-8.0
Bomba Centrífuga	16-25	3.0-5.0
Estación de Bombeo (estructura)	20-40	0.5-1.5
Motor Diésel	10-20	5.0-8.0
Motor Eléctrico	20-25	1.5-2.5
Tubería de acero galvanizado superficial	10-20	1.0-2.0

* Tasa de Mantenimiento. Fuente: Zocoler, (2003).

El precio de adquisición e instalación del equipamiento de riego (Máquina de riego, equipo de fertirrigación, equipo motobomba, cabezal de engrane, transmisión, pizarra eléctrica) se adquirió a través de la base de dato de la Empresa Nacional Proyectos Agrícolas (ENPA).

Para poder establecer comparaciones se ha calculado el costo anual de mantenimiento (Cam, en \$ ha^{-1} $año^{-1}$) por unidad de superficie.

4.4 Costo anual de mano de obra.

En el cálculo del (C_{amo}); se considera el salario medio mensual pagado al trabajador rural, el número de horas de trabajo necesarios por hectáreas y por riegos realizados según la expresión (6).

$$C_{amo} = \sum_{\text{días regados}=1}^{a} \{S * HI\} \quad (6)$$

Donde:

C_{amo} = Costo anual de mano de obra (\$ ha^{-1} $año^{-1}$)

HI = Horas de trabajo necesarias por hectáreas y por riegos realizados (h ha^{-1} $riego^{-1}$)

S = Salario por horas (\$ 1.4323 $horas^{-1}$)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación del régimen de riego de proyecto para el año de riego analizado.

A partir de la metodología expuesta en la NC: 48-46, (1987), citado en el capítulo anterior se calculó el régimen de riego para los dos cultivos que componen el año de riego (papa y maíz). Un resumen de los resultados para los cultivos de la papa y el maíz se puede apreciar en la tabla III.

Como se aprecia la norma total neta de ambos cultivos son de 3222 y 1535 m3/ha respectivamente, para un total de 20 riego en el cultivo de la papa y 8 para el del maíz.

Tabla III- Resultado del régimen de riego de proyecto para el año de riego.

Cultivo	Norma Total neta (m^3/ha)	Norma parcial neta (m^3/ha)	No. Total de riego	Distribución de los riegos.				
				Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	
Papa	3222	180	20	2	6	7	5	
				Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago
Maíz	1535	299	8	4	3	1	0	0

En la tabla IV se refleja el diseño del ramal de riego para las tres longitudes de máquinas en análisis, coincidiendo con Tarjuelo (2007) que expresa que para longitudes menores de 300 m se utiliza diámetros de 4½ pulgadas, y para los laterales de gran longitudes se emplea tuberías de 8 pulgadas en un primer tramo y 6 5/8 en un segundo tramo, estos tramos deben ir al 50% de la longitud total.

Tabla IV- Diseño de la tubería telescópica.

	Ø (pulgadas)	Longitud (m)
250 m	4½	250
350 m	6⅝	250
	4½	100
450 m	8	250
	6⅝	200

Las características mecánicas (potencia de los motores de accionamientos de cada torre) de las máquinas influyen en el tiempo máximo que demorarán en dar la norma mínima. Mientras que para el tiempo mínimo que puede tardar la máquina en dar una vuelta completa se tiene en cuenta la pluviosidad máxima para que no ocurra escurrimiento.

Diseño hidráulico de las seis variantes de pivote consideradas.

En la tabla V se ofrece un resumen de los principales parámetros hidráulicos para cada una de las variantes de diseño. Como se puede observar el caudal depende de la longitud del pivote y no depende del tipo de emisor que se utilice. A diferencia de ello la presión se incrementa con la utilización de emisores "Rotator" ya que estos dispositivos requieren de una mayor presión de trabajo para su funcionamiento. También se puede apreciar que el incremento de la potencia requerida se produce en una magnitud superior al incremento de la presión para diferentes longitudes de pivote.

Tabla V- Parámetros hidráulicos para las tres longitudes de máquina (250 m, 350 m y 450 m) y los dos emisores en análisis: Spray (S) y Rotator (R).

	250 m		350 m		450 m	
	S	R	S	R	S	R
Caudal (l/s)	23.20		45.48		75.18	
Presión (m)	31.24	33.24	31.95	33.95	35.07	37.07
Potencia requerida (kw)	18.32	19.03	36.40	37.80	63.78	66.10

Análisis de los resultados del Costo de Energía.

Las tablas VI y VII muestran los resultados de costo de energía diurno y nocturno para los cultivos de papa y maíz respectivamente. Los rangos de costo por consumo de energía para el cultivo de la papa varían de 43.29 a 46.60 $/ha y para el cultivo del maíz de 20.22 a 21.68 $/ha. Esta diferencia entre el cultivo de la papa y el maíz es debido a las horas totales de trabajo de la máquina en dependencia al número de riego correspondiente a cada cultivo.

Los resultados que se muestran en la tabla VIII resumen los costos de energía asociados al bombeo y al movimiento de traslación de la máquina para las diferentes variantes analizadas con consumo eléctrico y diésel. Se puede apreciar un ligero incremento en los costos totales para las variantes con dispositivos "Rotator". Este incremento está en el orden de 3.36 % superior al consumo de energía que se produce al empleo de dispositivo "Spray". El rango de costo total para los dispositivos "Spray" está en el orden de 63.52 a 66.03 $/ha y para el "Rotator" de 65.76 a 68.27 $/ha, con lo que se evidencia un ligero incremento de estos costos asociadas a la longitud de las máquina. Dadas las bajas tarifas según la legislación vigente para el cobro de la energía eléctrica resulta desproporcionado el peso que tiene este costo dentro de los costos de operación anuales. Esto provoca que en Cuba este indicador sea poco valorado por los productores dentro de los costos variables.

También resulta evidente el incremento del costo al utilizar energía diesel en comparación con la eléctrica.

Tabla VI- Resultados de los costos de energía para el cultivo de la Papa.

		250 m		350 m		450 m	
		Spray	Rotator	Spray	Rotator	Spray	Rotator
Tarifa eléctrica	(Diurna) $ 0.063/kw-h	488.87	505.97	967.60	1001.12	1649.04	1704.45
	(Nocturna) $ 0.035/kw-h	361.00	373.63	714.51	739.26	1217.71	1258.62
Total horas (h)		867.06		867.06		867.06	
Consumo de energía (kw-h)*		7759.85	8031.31	15358.73	15890.79	26175.28	27054.80
Consumo de energía (kw-h)**		10314.23	10675.04	20414.50	21121.69	34791.62	35960.65
Costo Total	(pesos)	849.87	879.60	1682.11	1740.38	2866.75	2963.07
	(pesos/ha)	43.29	44.81	43.73	45.24	45.08	46.60
Incremento de los Costos Totales del “Rotator” vs “Spray” (%)		3.3		3.3		3.3	

* Consumo de Energía en el Día. ** Consumo de Energía en la Madrugada.

Tabla VII- Resultados de los costos de energía para el cultivo del Maíz.

		250 m		350 m		450 m	
		Spray	Rotator	Spray	Rotator	Spray	Rotator
Tarifa eléctrica	(Diurna) $ 0.063/kw-h	233.87	242.26	466.83	483.27	784.84	812.00
	(Nocturna) $ 0.035/kw-h	163.13	168.98	325.63	337.10	547.45	566.40
Total horas (h)		531.75		531.75		531.75	
Consumo de energía (kw-h)*		3712.27	3845.35	7410.04	7670.87	12457.77	12888.95
Consumo de energía (kw-h)**		4661.00	4828.09	9303.80	9631.30	15641.57	16182.94
Costo Total	(pesos)	397.01	411.24	792.47	820.36	1332.29	1378.41
	(pesos/ha)	20.22	20.95	20.60	21.32	20.95	21.68
Incremento de los Costos Totales del "Rotator" vs "Spray" (%)		3.5		3.4		3.4	

* Consumo de Energía en el Día. ** Consumo de Energía en la Madrugada.

Tabla VIII- Resultados de los costos de energía para el año de riego (bombeo eléctrico).

		250 m		350 m		450 m	
		Spray	Rotator	Spray	Rotator	Spray	Rotator
Costo Total Anual	(pesos)	1246.88	1290.84	2474.57	2560.74	4199.04	4341.48
	(pesos/ha)	63.52	65.76	64.32	66.56	66.03	68.27
Incremento de los Costos Totales del "Rotator" vs "Spray" (%)		3.4		3.4		3.3	

(bombeo con Diésel).

		250 m		350 m		450 m	
		Spray	Rotator	Spray	Rotator	Spray	Rotator
Costo Total Anual	(pesos)	5281.12	5489.33	10922.87	11285.20	18921.87	19599.86
	(pesos/ha)	269.03	279.64	283.93	293.35	297.56	308.22
Incremento de los Costos Totales del "Rotator" vs "Spray" (%)		3.8		3.2		3.5	

Resulta evidente que al comparar los costos totales por hectárea con las dos fuentes de energía empleadas para el bombeo (eléctrica y diesel) se consigue un ahorro en los costos del 22.8 % como promedio.

De ahí que resulte evidente la conveniencia de emplear la energía eléctrica en la explotación de los pivotes.

Análisis de los resultados del Costo del Agua.

En las tablas IX y X se aprecian los resultados de la aplicación de las tres tarifas para los dos cultivos y longitudes de pivote en análisis, mostrándose en la tabla XI los costos totales de agua de todo el año de riego.

Como se pudo observar el consumo total de agua para el cultivo de la papa fue de 3690.33 m^3/ha. Este valor resulta notablemente inferior al resultado obtenido por Duarte (2008) en similar estudio efectuado para el cultivo de la papa regado por un pivote eléctrico en la provincia de Ciego de Ávila donde obtuvo un consumo total de 5831.7 m^3/ha. Sin embargo el resultado de este estudio concuerda con Blanco y Piña (2005) donde determinaron que los consumos reales de agua para ocho máquinas de pivote que regaban en la provincia La Habana oscilaron entre 2943 y los 3923 m^3/ha durante todo el ciclo del cultivo.

Para el cultivo del maíz el consumo total de agua para el número de riego necesario comprendido dentro del período vegetativo es de 1751.44 a 1751.74 m^3/ha.

Tabla IX- Resultados de los costos de agua para el cultivo de la Papa.

		250 m		350 m		450 m	
	Tarifa agua	Spray	Rotator	Spray	Rotator	Spray	Rotator
Costo Agua	$ 9.30/año	215.76		422.96		699.17	
	$ 0.01/m^3	724.17		1419.62		2346.68	
	$ 0.05/m^3	3620.84		7098.10		11733.40	
Volumen total (m^3)		72416.85		141961.99		234668.06	
Costo Total	(pesos)	724.17		1419.62		2346.68	
	(m^3/ha)	3689.09		3690.20		3690.33	
	(pesos/ha)	36.89		36.90		36.90	

Tabla X- Resultados de los costos de agua para el cultivo del Maíz.

		250 m		350 m		450 m	
	Tarifa agua	Spray	Rotator	Spray	Rotator	Spray	Rotator
Costo Agua	$ 9.30/año	215.76		422.96		699.17	
	$ 0.01/m^3	343.81		673.83		1113.93	
	$ 0.05/m^3	1719.04		3369.17		5569.66	
Volumen total (m^3)		34380.83		67383.36		111393.12	
Costo Total	(pesos)	343.81		673.83		1113.93	
	(m^3/ha)	1751.443		1751.582		1751.740	
	(pesos/ha)	17.51		17.52		17.52	

Tabla XI- Resultados de los costos de agua para el año de riego.

		250 m		350 m		450 m	
		Spray	Rotator	Spray	Rotator	Spray	Rotator
Consumo Total Anual	(pesos)	1067.98		2093.45		3460.61	
	(m^3/ha)	5440.53		5441.78		5442.07	
	(pesos/ha)	54.42		54.42		54.42	

Se puede apreciar que el costo del agua por hectárea con respecto a las longitudes de las máquinas analizadas como un valor constante. Esto se debe a que para un mismo hidromódulo se mantiene el caudal instalado directamente proporcional al área bajo riego.

Análisis de los resultados del Costo de Mantenimiento.

En la tabla XII se pueden apreciar los costos de mantenimiento para cada componente del sistema de riego. Estos resultados se obtuvieron a partir del producto de los costos de inversión y la tasa de mantenimiento asignadas a cada uno de los componentes. Teniendo en cuenta que los costos de inversión por hectárea disminuyen a medida que la longitud de la máquina es mayor, coincidiendo con Tarjuelo (2007), se obtiene como resultado que los costos de mantenimiento sean también altos a medida que la longitud de la máquina sea menor, tal y como se muestra en la tabla XIII donde se aprecia además la tendencia a la disminución tanto para el incremento de la longitud como para el tipo de emisor que se emplee.

Tabla XII- Costo de Mantenimiento de cada componente del sistema de riego para las diferentes longitudes

	250 m		350 m		450 m	
Elemento	Spray	Rotator	Spray	Rotator	Spray	Rotator
Pivote	1446.77	1446.77	1902.94	1902.94	2292.19	2292.19
Bomba	389.23	389.23	511.81	511.81	697.74	697.74
Motor	36.39	36.39	47.25	47.25	101.09	101.09
Modulo aspersión	107.64	259.83	151.74	366.27	194.54	469.58
Pizarra	24.89	24.89	29.24	29.24	39.53	39.53
Caseta	125.05	125.05	125.05	125.05	125.05	125.05
TOTAL	2129.96	2282.15	2768.02	2982.55	3450.15	3725.19

Los costos por concepto de Mantenimiento de los pivotes oscilaron en el rango de 54.26 a 116.26 $/ha (Tabla XIII), mostrándose un incremento del costo cuando se emplea "Rotator" en comparación con el "Spray" variando en un 7.6 % como promedio. Esto se debe al elevado precio de adquisición de dicho emisor en el mercado (27.63 Euros cada unidad).

Tabla XIII- Resultados de los costos de mantenimiento para los dos tipos de emisores empleados.

		250 m		350 m		450 m	
		Spray	Rotator	Spray	Rotator	Spray	Rotator
	Inversión inicial	64417.16	67460.94	82185.51	88838.38	106748.51	112249.31
Costo Total Anual	(pesos)	2129.96	2282.15	2768.02	2982.55	3450.15	3725.19
	(pesos/ha)	108.51	116.26	71.95	77.53	54.26	58.58
Incremento de los Costos Totales del "Rotator" vs "Spray" (%)		7.1		7.7		8.0	

Análisis de los resultados del Costo de Mano de Obra.

El costo de mano de obra depende del número de horas de trabajo total de la máquina en todo el año de riego, y este a su vez del régimen de riego de cada cultivo (tablas XIV y XV).

El resumen de los costos totales se observa en la tabla XVI donde los mismos estuvieron en el rango de 102.06 y 31.51 pesos/ha.

Tabla XIV- Resultados de los costos de mano de obra para el cultivo de la Papa.

		250 m		350 m		450 m	
		Spray	Rotator	Spray	Rotator	Spray	Rotator
Tarifa horaria	$ 1.43230/h	1241.89		1241.89		1241.89	
Total horas (h)		867.06		867.06		867.06	
	(pesos)	1241.89		1241.89		1241.89	
Salario Total	(pesos/ha)	63.26		32.28		19.53	

Tabla XV- Resultados de los costos de mano de obra para el cultivo de Maíz.

		250 m		350 m		450 m	
		Spray	Rotator	Spray	Rotator	Spray	Rotator
Tarifa horaria	$ 1.43230/h	761.63		761.63		761.63	
Total horas (h)		531.75		531.75		531.75	
Salario Total	(pesos)	761.63		761.63		761.63	
	(pesos/ha)	38.80		19.80		11.98	

Tabla XVI- Resultados de los costos de mano de obra para el año de riego.

		250 m		350 m		450 m	
		Spray	Rotator	Spray	Rotator	Spray	Rotator
Costo Total Anual	(pesos)	2003.52		2003.52		2003.52	
	(pesos/ha)	102.06		52.08		31.51	

Análisis de los costos totales de operación.

En la tabla XVII se aprecia que el costo por hectárea disminuye a media que aumenta la longitud de la máquina. El uso de un emisor determinado solo influye en el costo de energía debido solamente al ligero aumento de presión requerida por cada uno de ellos y en el costo de mantenimiento del "Rotator" que es un 7.1 % superior que el dispositivo "Spray" debido al alto costo de adquisición de los componentes del emisor por la complejidad técnica del mismo.

Tabla XVII- Relación de costos variables totales para las diferentes longitudes de pivote y emisores de riego analizados.

	250 m		350 m		450 m	
	Spray	Rotator	Spray	Rotator	Spray	Rotator
Costo de Energía	1246.88	1290.84	2474.57	2560.74	4199.04	4341.48
Costo de Agua	1067.98	1067.98	2093.45	2093.45	3460.61	3460.61
Costo de Mantenimiento	2129.96	2287.58	2768.02	3020.85	3450.15	3737.45
Costo de Mano de Obra	2003.52	2003.52	2003.52	2003.52	2003.52	2003.52
Total	6448.33	6649.91	9339.56	9678.56	13113.32	13543.06
$/ha	328.49	338.76	242.78	251.59	206.22	212.97

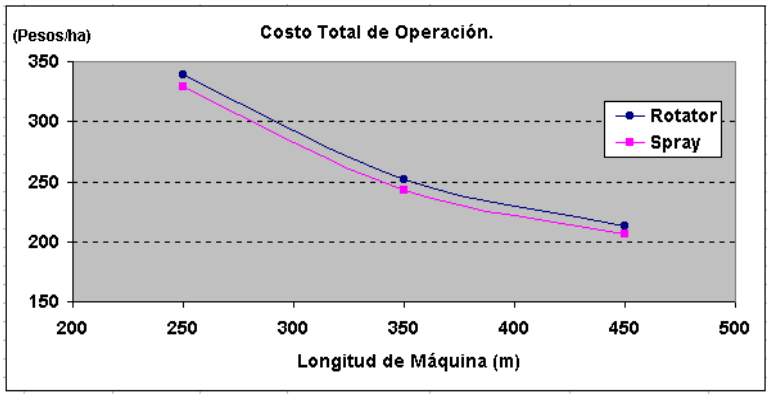

Figura 1 Tendencia de los costos total de operación con respecto a la longitud de la Máquina.

En la figura 1 se observa que el comportamiento de los costos de operación disminuye al aumentar el área de riego. Si se comparan los tantos por ciento obtenidos de cada indicador, con los valores obtenidos en un estudio similar anterior realizado por Alves, (2005) para el cultivo de la caña de azúcar en Brasil se tienen los siguientes resultados (tabla XVIII).

Nótese la gran diferencia existente en comparación al estudio de Alves, (2005), entre los valores de costo de energía, costo de mantenimiento y costo de mano de obra los cuales difieren en 39.95, 9.03 y 28.09 % respectivamente; mientras hay cierta similitud en los valores de costo de agua que difieren en menos del 5 %. Es necesario comentar que la gran diferencia existente en los costos de energía se debe a que en el país la energía eléctrica perteneciente a la agricultura se encuentra subsidiada por el estado.

Tabla XVIII- Comparación de diferentes casos de estudio.

	Costo nergía (%)	Costo Agua (%)	Costo Mantenimiento (%)	Costo Mano de Obra (%)
Álves, P. (2005)	59.32	13.47	24.7	2.5
Caso de estudio en Cuba (2008)	19.37	16.31	33.73	30.59
Diferencia	- 39.95	+ 2.84	+ 9.03	+ 28.09

CONCLUSIONES

1. El diseño hidráulico de las 6 variantes de pivote que se realizaron para este estudio (3 longitudes con 2 tipos de emisores) permitió conocer que el incremento de presión y potencia requerida en la estación de bombeo estuvo más influenciado por el aumento de la longitud del pivote que por el tipo de emisor. Por otra parte el caudal permanece exclusivamente condicionado a la longitud del pivote. También fue evidente que el incremento de la potencia requerida se produce en una magnitud superior al incremento de la presión para diferentes longitudes de pivote.

2. Dadas las bajas tarifas según la legislación vigente para el cobro de la energía eléctrica resulta desproporcionado el peso que tienen estos costos dentro de los costos de operación anuales. Esto provoca que, a diferencia del peso que tiene el consumo de energía dentro de los costos variables del riego (45 al 70 %) en Cuba estos indicadores sean poco valorados por los productores dentro de los costos variables.

3. El resultado de los costos anuales de operación promedio que se obtuvo para las diferentes longitudes de pivote analizadas estuvo en el rango de (209.60 a 333.63 pesos/ha), manifestándose una tendencia decreciente de este indicador en la medida que se incrementa la longitud del pivote y con ello el área de riego.

4. El peso que cada costo individual tiene dentro de los costos variables anuales se sucede en el siguiente orden: Costo de mantenimiento (33.73 %), Costo de mano de obra (30.59 %), Costo de energía (19.37 %), Costo de agua (16.31 %).

5. De las tres longitudes analizadas se puede concluir que la longitud de la máquina que garantiza una operación más eficiente es la de 450 m con un costo de operación total de 209.60 $/ha.

6. Se pudo determinar que los costos variables anuales se incrementan al utilizar emisores tipo "Rotator" en un 3.36 % con respecto a iguales condiciones de riego pero con emisores tipo "Spray". Esto sugiere realizar un análisis más profundo para determinar el posible incremento de la uniformidad de riego y con ello de los rendimientos asociados al uso de cada tipo de emisor para definir el más recomendable a emplear desde el punto de vista económico.

7. Resulta evidente que al comparar los costos totales por hectárea con las dos fuentes de energía empleadas para el bombeo (eléctrica y diesel) se consigue un ahorro en los costos del 22.8 % como promedio. De ahí que resulte evidente la conveniencia de emplear la energía eléctrica en la explotación de los pivotes.

REFERENCIAS

1. Blanco, C. J.; Piña, G. N. Estudio sobre la calidad y el régimen de riego de explotación de los pivotes en la E.C.V "Miguel Sonería Ríos" durante el cultivo de la papa. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Hidráulico. Ciudad de la Habana.2005.

2. FAO. Series Riego y Drenaje (56). Guía para la determinación de las necesidades hídricas de los cultivos, Roma. 2006.

3. Ministerio de Finanzas y Precios. Resolución P-6. Ciudad de la Habana. 2000.

4. Norma Cubana 48 - 46. Régimen de riego de proyecto: Método de cálculo. 1987.

5. Rey G., R y De la Oz. I. Manual del régimen de riego para los principales cultivos de Cuba. 1979.

6. Tarjuelo, J. M. El riego por aspersión y su tecnología. Editorial Mundi-Prensa. 3ra Edición, 200-491, 2007.

7. Zocoler, J.L. Análise econômica de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. Irrigação. Jaboticabal: Funep, (Série Engenharia Agrícola, 2) 653-703, 2003.

Recibido: Octubre del 2009
Aprobado: Noviembre del 2009