



## IMPACTOS DE TECNOLOGÍAS AGRARIAS

### ARTÍCULO ORIGINAL

# Determinación de los parámetros de explotación de las máquinas de pivote central, en las provincias Artemisa y Mayabeque, para satisfacer las dosis necesarias de los cultivos

*Determining the operating parameters of the center pivot machines, in the provinces Mayabeque and Artemisa, the doses needed to meet crop*

M.Sc. Zenén Placeres Miranda, M.Sc. Esequiel Jiménez, Dr.C. Miguel Domínguez,  
Tec. Joaquín Guzmán, Tec. Yoel Sánchez  
Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba.

**RESUMEN.** El presente trabajo del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, fue realizado por el grupo de máquinas, debido a la problemática presente en la producción en máquinas de pivote central, acerca de dosis de riego insuficientes, que técnicamente no cumplían con la explotación e incidían en bajos rendimientos. Se propuso como objetivo del trabajo, *Determinar los parámetros de explotación de las máquinas de pivote central y su efecto en la correcta aplicación de las dosis de riego*; para ello se utilizaron diferentes instrumentos de medición directa en el campo y herramientas para el trabajo de gabinete, como: cinta métrica, cronómetro, pluviómetros, brújula, sicrómetro, anemómetro, probetas, estacas, tablilla, software para el cálculo de los parámetros y la evaluación de la pluviometría. Se usó el método de medición directa sobre el terreno en la última torre de las máquinas, donde se aplicó la metodología descrita por la NC ISO 11545 (2004), para la determinación de la lámina promedio obtenida en la pluviometría comprobatoria. Entre otros resultados se logró determinar las velocidades reales de las máquinas, los parámetros de explotación en la producción, la determinación de un rango de velocidad de avance entre 2-3 (m·min<sup>-1</sup>) y un mejor rango de trabajo en porcentos entre 10 y 25, capaz de entregar normas críticas. Conclusión, se definió el rango de velocidad más adecuado para nuestras condiciones en la agricultura.

**Palabras clave:** Velocidad lineal, velocidad angular, máquina; riego; pivote.

**ABSTRACT.** The present work of the Research Institute of Agricultural Engineering was carried out by the machines group, due to the present problem in the agricultural enterprises in center pivot machines, about insufficient irrigation depth that technically didn't fulfill the management and impacted in low yields. The proposed objective of the work was, to determine the exploitation parameters of the center pivot machines and their effect in the correct application of the irrigation depth; were used different instruments of direct mensuration in the field and tools for the cabinet work, as: metric tape, chronometer, collector, compass, sichrometer, anemometer, test tubes, stakes, splint, software for the calculation of the exploitation parameters and the field test. The method of direct mensuration was used on the field in the last tower of the machines, where the NC ISO 11545 (2004) was the applied methodology, for the determination of the average depth obtained in the field test. Among other results the real speeds of the machines were determined, the exploitation parameters in field conditions, the determination of a range of advance speed between 2-3 (m·min<sup>-1</sup>) and a better work range between 10% and 25%, able to apply critical irrigation dose. Conclusion, was defined the most appropriate range of speed for our conditions in the agriculture.

**Keywords:** linear velocity, angular velocity, machinery, irrigation pivot.

## INTRODUCCION

En la actualidad es de vital importancia el aumento de la producción agrícola, dada la demanda creciente de alimentos por la población. Uno de los factores que incide en el incremento de la producción es el riego, el 70% del agua disponible se utiliza principalmente para esta actividad y aun así es insuficiente en relación con las áreas potencialmente cultivables, (MINAG, 2005). Dentro de este contexto, se impone la introducción de nuevas tecnologías, que permitan hacer un uso eficiente del recurso agua, cada vez más escaso en muchas zonas agrícolas.

En Cuba en la década del 70 se introdujeron los primeros pivotes centrales, hoy la reposición aplicada a esas viejas máquinas de accionamiento hidráulico, es un hecho importante en la política de desarrollo del riego.

En las Empresas Agropecuarias de Artemisa y Mayabeque, la modernización tecnológica generada por la reposición, originó la problemática, que dio origen a este trabajo, “la entrega de agua necesaria para los cultivos, era insuficiente”, situación que reunió a especialistas e investigadores de la Institución en busca de la solución.

Esencial para ello fue el estudio de los parámetros de explotación por tanto el **objetivo principal**, Determinar los parámetros de explotación de las máquinas de pivote central y su efecto en la correcta aplicación de las dosis de riego.

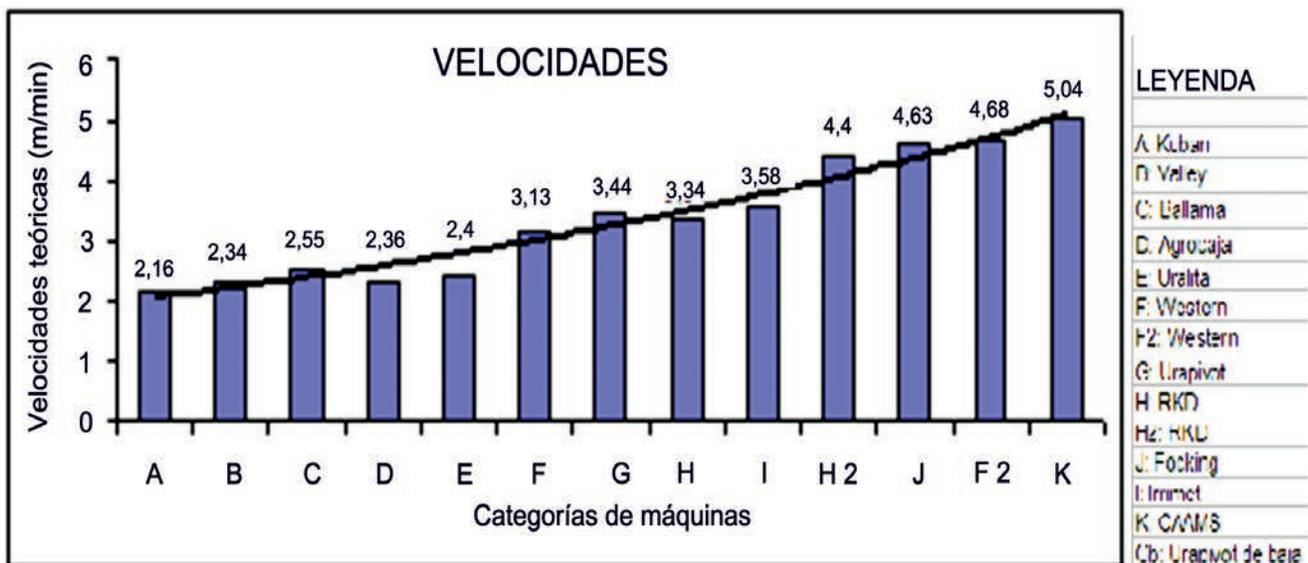
## MÉTODOS

El trabajo se realizó en las 6 Empresas Agropecuarias de la provincia Mayabeque, Batabanó, 19 de Abril, Melena del Sur, Valle Rojo en San José, Miguel Soneiras y Nueva Paz. En la 4 Empresas Agropecuarias de la provincia Artemisa, San Antonio, Güira de Melena, Alquizar y Artemisa, ubicadas al sur de la capital La Habana, por el oeste límite con Pinar del Río, por el este con la provincia de Matanzas y por al sur con el golfo de Batabanó.

Se realizó la determinación de los parámetros de explotación mediante la evaluación de 65 máquinas de la producción de 215 existentes en ambas provincias, correspondiente al 30%.

Las máquinas estudiadas fueron los pivotes eléctricos tipos, Urapivot, Western, Uralita, Ballama y Valley.

La revisión de todas las cartas tecnológicas de las máquinas originó la Figura 1.



Fuente: Cartas Tecnológicas de las máquinas (2005)  
 FIGURA 1. Velocidades vs. categorías de las máquinas en estudio.

Para la determinación de la velocidad de avance, se realizó una revisión técnica inicial de las máquinas, objetivo determinar su estado de funcionamiento.

Las mediciones se realizaron mediante los instrumentos siguientes:  
 cinta métrica, cronómetro, tablilla de trabajo y estacas o jalones.

Se procedió de la siguiente forma, en el sentido de avance de la última torre, por la parte externa a 10 cm de la huella, se marcaron 3 tramos de 10 m, distancia que debe recorrer la máquina regando al 100% de velocidad; Se tomó como referencia el eje de la rueda y se midió el tiempo que demoró en recorrer cada tramo en minutos y segundos.

Se calculó la velocidad, dividiendo espacio entre tiempo, expresado en  $m \cdot min^{-1}$ , posteriormente convertido en  $m \cdot h^{-1}$ ; este valor se introdujo en el software Pivote (García, 2006) con todos los datos del sistema y se recalcularon los parámetros de explotación y se realizaron pluviometrías de comprobación, aplicando la norma NC ISO 11 545 (2004).

La velocidad de la prueba se ubicó en el Reloj porcentual (Timer), al 20% garantizando una lámina aplicar como indica la norma no menor a 15 mm, inmediatamente la máquina dejaba de tener influencia sobre la línea de pluviómetros, se precedía a la medición con probetas del volumen almacenado. Último paso el procesamiento de los datos obtenidos, este se realizó, mediante el software, (Carlos, 2009), que determinó el área regada adecuadamente (ARA), área regada excesivamente (ARE) y el área regada insuficiente-

mente (ARI), utilizados por Montero et al. (1997) y el coeficiente de uniformidad por Heerman y Hein (1968), más el gráfico de distribución de la humedad a lo largo de toda la máquina. Para ello el software utiliza, todas las mediciones pluviométricas realizadas a lo largo de la línea de colectores.

### Premisas para el análisis de los parámetros de explotación

- Este se realizó seleccionando 10 máquinas que abarcaron todo el rango de longitudes desde 200 m hasta 460 m.
- Se estudió el comportamiento de ese grupo de máquinas, para el rango de velocidad propuesto de 2–3 m·min<sup>-1</sup> en el trabajo, para la satisfacción de una norma neta crítica de 250 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>.
- Se analizó para el rango de velocidad propuesto, el Hidromódulo de diseño actual de 1,3 L·s·ha<sup>-1</sup>, (MINAG, 2005), utilizado para la solicitud de las máquinas.

### Evaluación de los parámetros de explotación

Se evaluaron los siguientes valores:

El perímetro que recorre la última torre de cada máquina, se calculó por la ecuación.

$$P=2R\pi, \text{ m} \quad (1)$$

R: distancia del pivote a la última torre. R=r: radio a la última torre, m

La velocidad angular W (rad·s<sup>-1</sup>) de cada una de las máquinas para el valor de velocidad lineal asumido se calculó por la ecuación.

$$W = \frac{V}{r}, \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (2)$$

V—velocidad (m·s<sup>-1</sup>), r- radio a la última torre, m;  
Se determinó el área que riega cada máquina, ha.

$$A = \pi \cdot R^2, \text{ ha} \quad (3)$$

Se calculó el tiempo en dar una vuelta, al por ciento de velocidad que se ubica en el Taimer para la entrega de una norma de 250 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> y el tiempo en horas para regar un cuadrante mediante el software pivote.

Se repitió el cálculo de todos los anteriores puntos para el segundo valor del rango de velocidad asumida.

Se comparó el comportamiento del tiempo con ambas velocidades y en el tiempo establecido de riego diario.

Se analizó del comportamiento de un hidromódulo superior (1,5 L·s·ha<sup>-1</sup>), tomando el segundo valor de velocidad lineal asumido, 3 m·min<sup>-1</sup> = 0,05 m·s<sup>-1</sup>.

Con los valores de tiempo por cuadrante para ambos hidromódulos 1,3 y 1,5 L·s·ha<sup>-1</sup> a la velocidad de 3 m·min<sup>-1</sup> se efectuaron cálculos de volúmenes de agua a extraer en m<sup>3</sup>.

La metodología de cálculo del gasto se realizó según fórmula propuesta por Tarjuelo (2005).

$$Q = \frac{Etpb \cdot A \cdot 10000}{Ea \cdot Tr \cdot 3600}, \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \quad (4)$$

$$ETpb = ETo \cdot Kc \quad (5)$$

donde:

*Etpb*- Evapotranspiración del cultivo;

*A*- el área del sistema, ha;

*Ea*-eficiencia de aplicación;

*Tr*-tiempo de riego diario en horas;

*Eto*- Evapotranspiración de referencia;

*Kc*- Coeficiente de cultivo;

*A*- área en ha.

El hidromódulo de diseño se determinó por la ecuación:

$$q = \frac{Q}{A}, \text{ L} \cdot \text{s} \cdot \text{ha}^{-1} \quad (6)$$

$$Q = q \cdot A, \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \quad (7)$$

Los caudales en la Tabla 10 para ambas máquinas, según la ecuación

La dosis bruta por la fórmula:

$$Db = \frac{Q(2\pi / W)}{\pi R^2}, \text{ mm según Tarjuelo (2005)} \quad (8)$$

El volumen por la ecuación:

$$Vt = Qd \cdot Tt, \text{ m}^3 \quad (9)$$

Donde Qd es la diferencia de volúmenes, m<sup>3</sup> y Tt el tiempo total a trabajar en una campaña de 6 meses, h

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Determinación de las velocidades promedios de las máquinas en producción

La Tabla 1, son los valores promedios de velocidad por tipo de máquina.

Rangos observables, en las tipo A, entre 4,19 a 4,35 m·min<sup>-1</sup>, tipo B con valores entre 4,81 a 4,98 m·min<sup>-1</sup>.

Según los fabricantes 3,44 m·min<sup>-1</sup> en el primer caso y de 4,68 m·min<sup>-1</sup> en el segundo.

Según se observa en la Figura 1, producto de las Cartas Tecnológicas de la Máquinas (2005), existe una tendencia creciente con la introducción de nuevas máquinas al aumento de la velocidad, así como una variación en los valores promedios obtenidos en la Tabla 1, superior a lo planteado en las cartas, donde los fabricantes argumentan que cualquier variación se debe al tipo de suelo en que se instale.

Por consiguiente las consideradas de baja velocidad, 9 en total, tipos A, C, D y E, los valores obtenidos cercanos a los ofrecidos en las cartas, no causaba el mismo efecto perjudicial de las máquinas de "alta velocidad" por ello se centró el trabajo en las tipo A y B, donde el coeficiente de variación obtenido en el procesamiento estadístico, nos indicó el alto grado de confiabilidad.

Los valores medios obtenidos en las tipo A y B que están entre 4–5 m·min<sup>-1</sup>, valores estudiados por Allen *et al.* (2000), Uribe *et al.* (2001) y Tarjuelo (2005), plantean que velocidades de 4,3–4,5 m·min<sup>-1</sup> solo para casos específicos, suelos arenosos ó agrietados ó máquinas que superen los 400m.

En los suelos de Mayabeque y Artemisa, en su mayoría alíticos y ferralíticos, (Cid, 2010), se encuentra el grueso de

las máquinas pivotes, donde no recomendamos esta velocidad. Se ha obtenido que el mejor comportamiento en la entrega de las normas y los mejores resultados obtenidos, ha sido con velocidades de avance por debajo de los 3 m·min<sup>-1</sup>.

**TABLA 1. Valores promedios de velocidad por máquinas en cada entidad**

Entidad	Tipo	Nº Máq.	VELOCIDAD (m·min <sup>-1</sup> )					
			Alta A	B	A' C	Baja D	E	
Valle Rojo	A	6	4,31					
San José	B	1		4,88				
Miguel Soneira	A	1			3,27			
	A	4	4,19					
	C	3				3,17		
Batabano 19 de Abril	A	1			3,28			
	A	5	4,25					
	A	7	4,23					
Guira de Melena	B	1		4,88				
	D	1					2,79	
	A	7	4,23					
Melena del Sur	B	2		4,81				
	E	1					2,55	
	A	4	4,29					
Alquizar	B	1		4,95				
	B	1		4,92				
	D	2					3,10	
San Antonio	A	2	4,35					
	B	1		4,93				
Artemisa	A	5	4,21					
Nueva Paz	A	6	4,26					
	B	3		4,98				
<b>PROMEDIO DE VELOCIDAD</b>			4,26	4,91	3,28	3,17	2,95	2,55
<b>TOTAL DE MÁQUINAS 65</b>			<b>46</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b>								
Desviación Típica			0,10	0,07	0,007		0,16	
MEDIA			4,26	4,91	3,28		2,9	
Coeficiente de Variación			0,02	0,01	0,002		0,05	
%			2	1	0,2		5	

Leyenda: A: Urapivot; A': Urapivot de baja; B: Western; C: Uralita; D: Ballama y E: Valley

### Comportamiento de los parámetros de explotación para el rango propuesto

La Tabla 2 muestra el comportamiento de parámetros de explotación de las máquinas a las velocidades de 2–3 m·min<sup>-1</sup> para un hidromódulo 1,3 L·s·ha<sup>-1</sup>.

**TABLA 2. Comportamiento del rango de velocidad propuesto**

No.	10 máquinas Longitud a la última torre, m	Velocidad de 2 m·min <sup>-1</sup> =0,033m·s <sup>-1</sup>			Velocidad de 3 m·min <sup>-1</sup> = 0,05m·s <sup>-1</sup>		
		Tiempo mínimo una vuelta, h	% Velocidad para 250 m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	Tiempo de riego 1 cuadrante, h	Tiempo mínimo una vuelta, h	% Velocidad para 250 m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	Tiempo de riego 1 cuadrante, h
1	205,30	10,74	16,2%	16,5	7,16	11%	16,3
2	218,80	11,45	17,2%	16,6	7,63	11%	16,3
3	246,60	12,91	19,5%	16,4	8,60	12%	16,5
4	307,60	16,10	24,1%	16,6	10,73	16%	16,7
5	329,20	17,23	25,8%	16,0	11,49	17%	16,8
6	334,90	17,53	26,2%	16,6	11,68	18%	16,2
7	372,60	19,50	27%	16,0	13,00	20%	16,3
8	383,60	20,08	29,9%	16,6	13,38	20%	16,7
9	451,00	23,60	35,3%	16,5	15,73	24%	16,4
10	443,90	23,23	34,9%	16,6	15,49	23%	16,6

Otros elementos calculados dentro de este análisis fue la velocidad angular que es mayor a medida que disminuye la longitud a la última torre, el tiempo mínimo en dar una vuelta es menor, y el porcentaje a que debe trabajar cada máquina disminuye también. Se obtuvo que para satisfacer una norma crítica de 250 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> en el cultivo de la papa es suficiente 16 h diarias por cuadrante en todos los casos, para el cumplimiento de un intervalo de riego de 4 días, establecido en la plenaria de papa del año 2000.

### Efecto de la velocidad en el diseño agronómico de las máquinas

La Tabla 3 muestra el resultado del análisis de dos hidromódulos de diseño conocidos, aplicando velocidades que difieren, una por considerarse alta, 4,26 m·min<sup>-1</sup> obtenida en el trabajo y 2,35 m·min<sup>-1</sup> comprendida dentro del rango propuesto.

**TABLA3. Variación de la satisfacción de la demanda con la velocidad**

Hidromódulos, L·s·ha <sup>-1</sup>	Velocidad, m·min <sup>-1</sup>	Velocidad Angular, (rad·s <sup>-1</sup> )	Gastos, L·s <sup>-1</sup>	Demanda, mm·dia <sup>-1</sup>
q1= 1,2 q2= 1,3	2,35	0,00012	Q1= 46 Q2= 50	6,32 6,87
q1= 1,2 q2= 1,3	4,26	0,00022	Q1= 46 Q2= 50	3,44 3,75

Se observa que el incremento de velocidad produce una disminución de la demanda diaria del diseño de 3,44-3,75 mm·dia<sup>-1</sup> que no satisface, mientras que de 6,32-6,87 mm·dia<sup>-1</sup> es correcto el diseño, si tenemos en cuenta que nuestras máquinas deben satisfacer 6 mm·dia<sup>-1</sup>.

### CONCLUSIONES

- El desconocimiento del efecto de la velocidad en los parámetros de explotación, así como el uso no adecuado de la misma, produce insuficiencia en la satisfacción de las normas de entrega, por ello el rango de velocidad de avance propuesto

para las máquinas pivote en nuestros suelos debe estar en el rango de 2 a 3 m·min<sup>-1</sup>, y para las máquinas que sobrepasen los 400 m hasta 3,5 m·min<sup>-1</sup>, con el uso del moto reductor estándar de potencia 0,6-0,75 hp y reductor de relación, 50:1, 52:1 ó 40:1, según el caso.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIDAROV, I. P.; A. I. GOLOVANOV y M. G. MAMAEV: *Capítulo III Régimen de riego de los cultivos agrícolas. El Riego*, pp 71-76, La Habana, Cuba: Editorial Científico Técnica, 1982.
- ALLEN, R. G.; J. SELLER y D. MARTIN. *Center pivot design. The irrigation association [en línea] Feb 2010. Disponible en: <http://www.irrigation.org> [Consulta: mayo 18 2011].*
- CID, G. y F. SOTO: *Evaluación de la potencialidad productiva y las principales limitaciones para la producción de cereales en algunas regiones secas de Cuba, utilizando modelos de nivelación de cultivo*, La Habana, Cuba, IAGRIC, (Informe subproyecto), 2010.
- HEERMAN, D. F. y P. R. HEIN: "Performance characteristics of self-propelled center pivot sprinkler irrigation systems", *Transactions of The ASAE*, 11 (1): 11-15, 1986.
- ISO-11545: *Agricultural Irrigation equipment. Centre pivote and moving lateral irrigation machines with spray or sprinklers nozzles. Determination of uniformity of water distribution*, Vig. 1994.
- MINAG: *Programa para el enfrentamiento y mitigación de la sequía en el sistema productivo del Ministerio de la Agricultura*, Cuba, 2005.
- MONTERO, J.; J. M. TARJUELO; J. I. TEBAR; F. LOZANO y F. T. HONRUBIA: Análisis de la distribución de agua en riego con equipos pivote. En: XV Congreso Nacional de Riegos y Drenajes, 25-27 junio de 1997, pp. 481-450, Madrid, España. Asociación Española de Riegos y Drenajes, 1997.
- TARJUELO MARTIN-BENITO, J. M.: *Capítulo 5. Sistemas Autopropulsados de riego por aspersión* En: MundiPrensa (ed.) *El Riego por Aspersión y su tecnología*. 2da ed. Madrid, España, pp. 250-287. 1999.
- TARJUELO MARTIN-BENITO, J. M.: *Capítulo 5. Sistemas Autopropulsados de riego por aspersión* En: MundiPrensa (ed.) *El Riego por Aspersión y su tecnología*. 3ra ed. Madrid, España, pp. 239-268. 2005.
- URIBE, H. C.; L. O. LAGOS y E. HOLZAPHEL: *Comisión Nacional de Riego. Corporación de Fomento de la Producción. Pivote Central [en línea] Enero 2001. Disponible en: <http://www.cnr.gob.cl> [Consulta: Enero 2009].*

**Recibido:** 4 de octubre de 2011.

**Aprobado:** 22 de diciembre de 2012

Zenén Placeres Miranda, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAGRIC), Carretera de Fontanar, km. 2½, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba, Teléf.: (53) (7) 645-1731 y 645-1353, Correo electrónico: zenen@iagric.cu