

Estudio de la uniformidad de riego, en una máquina de pivote central

Study irrigation uniformity, in center pivot machine

Esequiel Rolando Jiménez Espinosa¹, Miguel Domínguez González², Ricardo Pérez Hernández¹,
Lorenzo Montero San José¹ y Reinaldo Cun González³

RESUMEN. El trabajo se llevó a cabo en la Unidad de Desarrollo Científico y Técnico en Pulido, Alquizar en una máquina de pivote central de la firma Otech-Irrimec⁴. Para el estudio se desarrollaron cuatro ensayos con diferentes variantes para emisores del tipo: Spray Nelson D3000K y Boquilla Difusora IIRD. La metodología para la evaluación fue la propuesta en la norma cubana NC ISO 11545:2005. Fueron determinados los parámetros coeficiente de uniformidad de Heermann y Hein (CU_h), coeficiente de uniformidad de variación de Bremond y Molle (CU_v) y uniformidad de distribución ($UD_{25\%}$) y su relación gráfica con el área regada adecuadamente (ARA). Los resultados arrojaron que la mejor variante fue: “*boquilla difusora IIRD a 1m de altura, sin regulador de presión y con contrapesos*” donde se obtienen los mayores valores CU_h , CU_v , $UD_{25\%}$ y ARA con 82,33%, 77,51%, 68,08% y 56% respectivamente. También se estableció la clasificación de la calidad de riego utilizando el porcentaje de área regada adecuadamente, a partir de la obtención del CU_h y de los criterios de Tarjuelo.

Palabras clave: coeficiente de uniformidad, uniformidad de distribución, pivote, boquillas difusoras.

ABSTRACT. The work was carried out in the Unit of Scientific and Technician Development in Pulido, Alquizar in a central pivot machine of the Otech-Irrimec⁴ enterprise. For the study four tests were developed with different variants for emitters of the type: Spray Nelson D3000K and Spray IIRD. The methodology for the evaluation was Cuban standard NC ISO 11545:2005. The parameters Coefficient by uniformity of Heermann and Hein (CU_h), Coefficient of uniformity of variation by Bremond and Molle (CU_v) and distribution Uniformity ($UD_{25\%}$) were determined and its graphic relationship with the Area Irrigated Appropriately (ARA). The results threw that the best variant was: “*spray IIRD at 1m of height, without regulator of pressure and with counterbalances*” where the biggest values CU_h , CU_v , $UD_{25\%}$ and ARA with 82,33%, 77,51%, 68,08% and 56% respectively were obtained. The classification of the irrigation quality also settled down using the percentage of Area Irrigated Appropriately, starting from the obtaining of the CU_h and of the approaches of Tarjuelo.

Keywords: Coefficient of uniformity, distribution uniformity, pivot, spray.

INTRODUCCIÓN

Las máquinas de pivote central están entre los sistemas de riego más populares en el mundo. Ellas han hecho fácil y muy eficaz el riego en muchas áreas donde otros métodos de irrigación no son adecuados. Se pueden aplicar riegos más frecuente y cubrir mejor los requerimientos de agua de los cultivos y aumentar al máximo la producción. Durante las últimas tres décadas, las máquinas de pivote central se han perfeccionado

mucho. Son mecánicamente muy fiables y simples de operar, aunque, como cualquier maquinaria, el mantenimiento rutinario y sistemático es imprescindible. Estos equipos permiten un notable ahorro de agua y energía al compararse con otras técnicas como la aspersión tradicional y los pivotes de accionamiento hidráulico (González, 2006).

En Cuba la expansión de esta técnica ha permitido estabilizar las grandes producciones de papa, viandas y hortalizas sobre los suelos de mejores condiciones desde el punto de vista agrícola.

Recibido 10/02/09, aprobado 22/02/10, trabajo 13/10, investigación.

¹ Ing., Inv., Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), Ave. Camilo Cienfuegos y Calle 27, Apdo. Postal 6090. Habana 6, Cuba, E-✉: mdominguez@iird.cu.

² Dr., Investigador titular, Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje.

³ MSc., Inv. Agregado, Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje.

⁴ La mención de marcas comerciales de los equipos, instrumentos o materiales específicos obedece únicamente a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos por la dirección de la revista, la que tampoco se responsabiliza con los criterios emitidos con relación a productos de determinada firma comercial.

Por otra parte, Cárdenas (2000) plantea que la uniformidad de aplicación del riego es un parámetro que está muy relacionado con la eficiencia del riego y con la producción de los cultivos.

Por tanto, se están realizando inversiones importantes en temas de modernización de los sistemas de riego con la introducción de nuevas tecnologías, dentro de estas están incluidos los pivotes. Además existen diferentes firmas extranjeras que proveen estos equipos de tecnología moderna. Recientemente se han instalado en el país pivotes eléctricos de diferentes firmas comerciales que utilizan emisores de baja presión colocados en bajantes de polietileno sobre el follaje de los cultivos.

Entre estas está la IRRIMEC que ha suministrado al país algunos equipos. En la Unidad de Desarrollo Científico Técnico de Pulido Alquízar, está instalada una como objeto de investigación, debido a la necesidad de estudiar estas máquinas que deciden la producción del país. El objetivo de este trabajo es caracterizar la distribución de agua de la máquina de pivote central OTECH-IRRIMEC, así como establecer la mejor variante en cuanto a los parámetros de uniformidad de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área está ubicada en la Unidad Docente Científico Técnica del Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, en Pulido, Alquízar. El mismo se referencia con las siguientes coordenadas geográficas: 23° 46' 59,76" latitud Norte y 82° 36' 4,59" longitud Oeste, y altura de 8 m sobre el nivel del mar.

La máquina evaluada pertenece a la firma OTECH (Pivot ST168, 2001), donde aparece la nomenclatura y posee una longitud de 206 m y 4 torres. Se realizaron cuatro ensayos de campo, con el objetivo de determinar la uniformidad de riego. La norma utilizada para los ensayos fue la NC ISO 11545: 2005. Dichas pruebas fueron efectuadas con emisores Spray Nelson D3000K y Spray IIRD colocados a 1 m de altura y espaciamiento entre emisores es de 2m. Las variantes evaluadas fueron las siguientes:

- Evaluación 1 (con Spray Nelson D3000K, 1 m de altura, con regulador de presión, y con contrapeso);

- Evaluación 2 (Spray IIRD 1 m de altura, con regulador de presión, sin contrapeso);
- Evaluación 3 (Spray IIRD 1 m de altura, sin regulador de presión, sin contrapeso);
- Evaluación 4 (Spray IIRD 1 m de altura, sin regulado de presión, con contrapeso).

Los indicadores que se determinaron fueron los siguientes:

coeficiente de uniformidad de Heermann y Hein (1968):

$$CU_h = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n D_i |C_i - M_c|}{\sum_{i=1}^n C_i D_i} \right] \cdot 100(\%) \quad (1)$$

donde:

n – número de colectores;

C_i - cantidad recogida por el colector (con i variando entre 1 y n);

D_i - área regada por el colector i o distancia del centro del pivote al colector i;

M_c - media ponderada de las cantidades recogidas por los n colectores.

$$M_c = \frac{\sum_{i=1}^n C_i D_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \quad (2)$$

Coefficiente de uniformidad de variación según Bremond y Molle (1995):

$$CU_V = \left[1 - \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{C_i D_i}{D_i}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(C_i - \frac{\sum_{i=1}^n C_i D_i}{D_i} \right)^2 D_i}{\sum_{i=1}^n D_i}} \right] \cdot 100(\%) \quad (3)$$

Uniformidad de distribución:

$$UD_{25\%} = \frac{\text{Lámina media en el 25\% del área menos regada}}{\text{Lámina media de toda el área}} \cdot 100(\%) \quad (4)$$



(A)



(B)

FIGURA 1. Emisores utilizados en las evaluaciones. (A)-boquilla difusora IIRD y (B)-Spray Nelson D3000K.

Para clasificar la calidad de riego, partir de rango de valores de porcentaje de área regada adecuadamente (ARA), se establecieron las relaciones gráficas siguientes:

1. ARA-CU_h
2. ARA-CU_v
3. ARA-UD_{25%}

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los resultados de las evaluaciones realizadas. El coeficiente de uniformidad de Hermann y Hein (CU_h) osciló entre 64,79% y 82,33%, obteniéndose el mayor valor en la variante con **“boquilla difusora IIRD a 1m de altura, sin regulador de presión y con contrapesos”**, aproximándose al rango de 85-90%, que según Tarjuelo (2005), la parcela está bien regada. También el CU_h de la variante mencionada coincide con el obtenido por Cárdenas (2000) de 82,82%, pero con espaciamiento entre emisores de 2.43m, lo que indica que a esta variante se le puede aumentar el espaciamiento. El mismo autor obtuvo los mayores valores de este parámetro con los emisores ubicados a 1m de altura. También otros autores como Heinemann *et al.*, (1997) y Tarjuelo (2005), plantean la reducción de la altura del emisor al suelo, para disminuir las pérdidas por evaporación y arrastre, sin perjudicar los parámetros de calidad de riego. Según Kincaid (1996), las boquillas difusoras debían estar al menos a 1 m por encima del suelo. Sin embargo Montero *et al.*, (1997) obtuvo un resultado diferente, o sea, que para las condiciones

de España recomienda 2 m de altura.

La uniformidad de distribución (UD_{25%}) también posee uno de los mayores valores en la evaluación 4, donde el porcentaje de la lámina media del 25% del área menos regada, es uno de los que más se aproxima a la lámina promedio en toda la máquina, con un 68,08%. Este parámetro es solo superado por la evaluación 2.

En cuanto al Coeficiente de uniformidad de variación (CU_v), también la evaluación 4 posee el valor más alto con un 77,51%. Este parámetro estadístico, según Bremond y Molle (1995), está basado en el coeficiente de variación, por lo que es más sensible a las variaciones extremas de lámina recogida por los colectores que el CU_h.

También se muestran los resultados de área regada adecuadamente (ARA), área regada excesivamente (ARE) y área regada insuficientemente (ARI). En sentido general en ninguna de las evaluaciones el ARA sobrepasa el 60%. La variante de la evaluación 3 posee la mayor ARE con un 31% y la variante de la evaluación 1 con el ARI de un 39%. Nuevamente sigue siendo la mejor variante con **“boquilla difusora IIRD a 1m de altura, sin regulador de presión y con contrapesos”**, reflejada en la evaluación 4, ya que el ARA es superior, con un 56%.

Un elemento importante es que se trabajó con una máquina de riego donde la pendiente del terreno es suave y las variaciones de presión no son grandes lo que pudiera justificar el hecho de obtener buenos resultados en la variante donde no se colocaron los reguladores de presión.

TABLA 1. Algunos parámetros técnicos y de calidad del riego, de la máquina eléctrica de Pivote Central OTECH-IRRIMEC

Parámetros	UM	Evaluación 1 (con Spray Nelson D3000K, 1 m de altura, con regulador de presión, y con contrapeso)	Evaluación 2 (Spray IIRD 1 m de altura, con regulador de presión, sin contrapeso)	Evaluación 3 (Spray IIRD 1 m de altura, sin regulador de presión, sin contrapeso)	Evaluación 4 (Spray IIRD 1 m de altura, sin regulado de presión, con contrapeso)
Lámina real obtenida	mm	5,92	10,2	17,82	18,36
Lámina del 25% de menor pluviometría.	mm	3,74	7,4	10,7	12,5
Coeficiente de uniformidad (CU _h)	%	71,17	79,14	76,96	82,33
Coeficiente de Uniformidad de Variación (CU _v)	%	63,28	72,69	69,72	77,51
Uniformidad de distribución (UD _{25%})	%	63,28	72,7	60,33	68,08
Presión de trabajo	kPa	120	160	160	160
Velocidad el viento	km/h	7,2	12	7,7	10,44
ARA	%	32	40	44	56
ARE	%	29	30	31	20
ARI	%	39	30	25	24

Se realizaron estudios de correlación entre el porcentaje de área regada adecuadamente (ARA) y los parámetros de uniformidad calculados (CU_h, CU_v y UD_{25%}). Para ello se agregaron dos evaluaciones más de la variante 1 pero con velocidades de avance diferentes para obtener más puntos. Tabla No 2.

TABLA 2. Relación del porcentaje de ARA con los parámetros calculados

Evaluaciones	Porcentaje de ARA (%)	CU _h (%)	CU _v (%)	UD _{25%} (%)
1	32	71,17	63,28	63,28
2	40	79,14	72,69	72,7
3	44	76,96	69,72	60,33
4	56	82,33	77,51	68,08
5	33	66,55	58,71	55,22
6	19	64,79	54,51	53,7

Referido a la tabla anterior, existen contradicciones entre los valores de calculados y el ARA, donde es mayor el ARA para CU_h, CU_v y UD_{25%} menores y viceversa. Esto está asociado a la distribución de la lámina de agua en la máquina de riego (Figura 2). Si existe una mala distribución de agua en los tramos cercanos al pivote, la afectación del ARA es menor, pero si los problemas de distribución están alejados del pivote, ocurre lo contrario, es decir la afectación del ARA es mayor. Esto se debe a que los tramos cercanos al centro de rotación de la máquina no son representativos con respecto al área total de la máquina, sin embargo los tramos lejanos si.

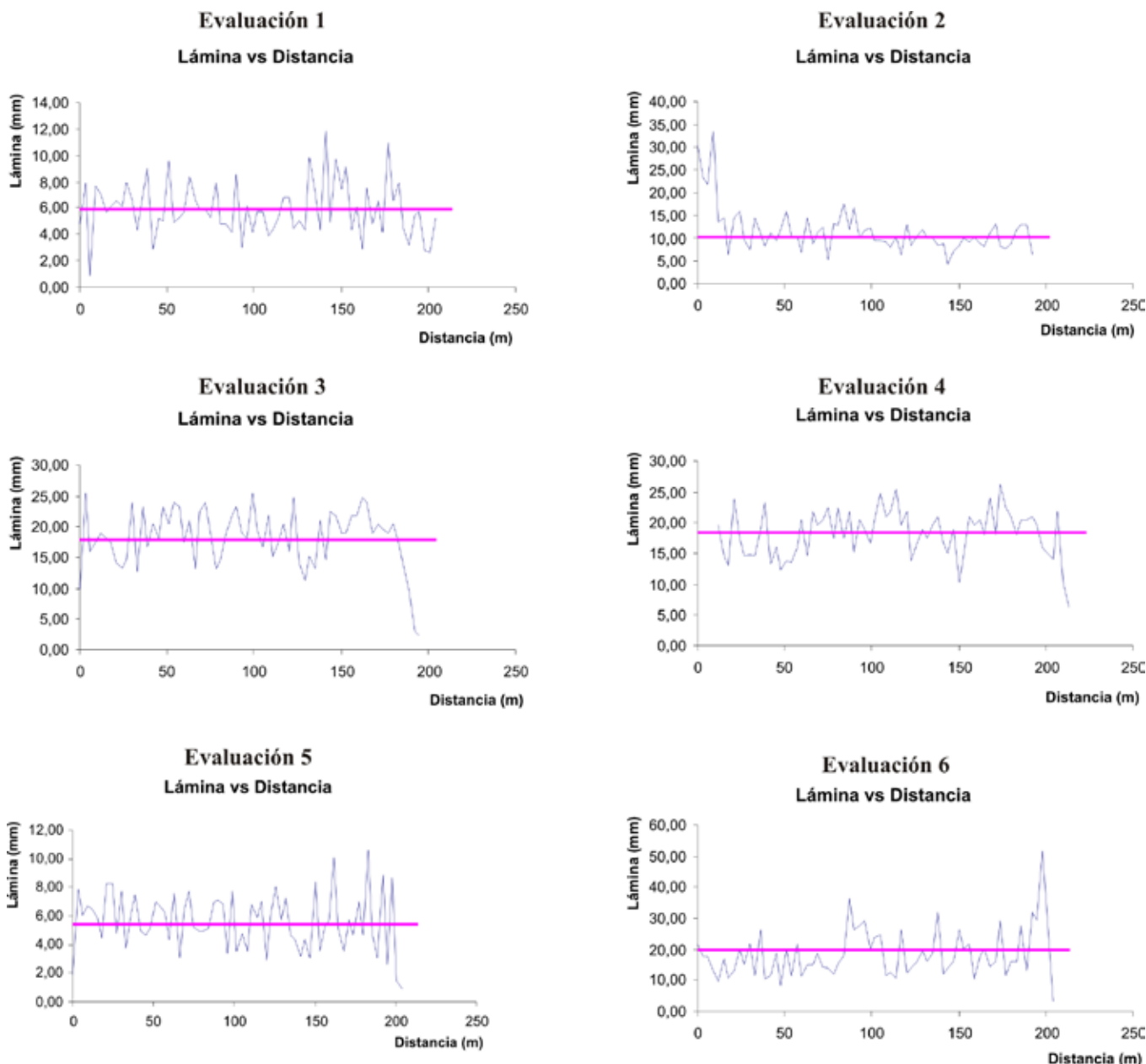


FIGURA 2. Distribución de la lámina de la Máquina OTECH-IRRIMEC.

En la Figura 3 se muestran los gráficos de correlación, así como sus ecuaciones. Puede apreciarse que en los gráficos A y B existen asociaciones elevadas entre el ARA y los parámetros CU_h , y CU_v respectivamente ya que poseen valores altos de coeficiente de determinación (R^2) y coeficiente de correlación (r). Sin embargo en el gráfico C, se indica que la uniformidad de distribución tiene poca influencia en el ARA, lo cual tiene sentido porque este indicador representa el 25% de los valores más bajos, y precisamente estos no se tienen en cuenta para el cálculo del ARA.

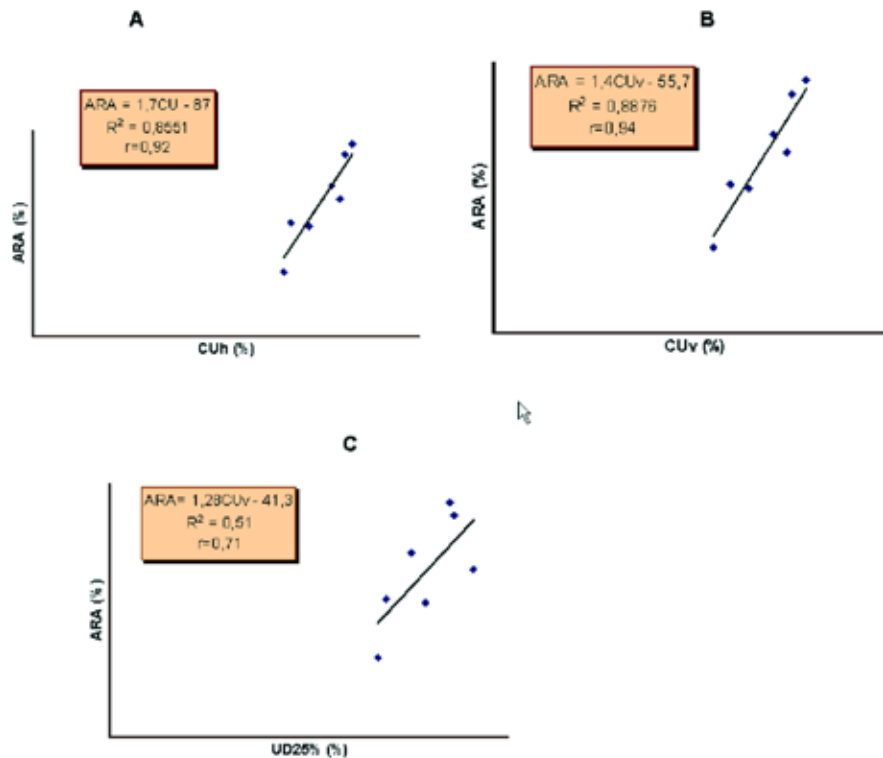


FIGURA 3. Correlación de parámetros de calidad de riego. A: correlación entre el ARA y el CU_h , B: correlación entre el ARA y el CU_v y C: correlación entre el ARA y la $UD_{25\%}$.

A partir de los resultados anteriores, se puede establecer la clasificación de la calidad de riego utilizando el porcentaje de área regada adecuadamente, a partir de la obtención del CU_h y de los criterios de Tarjuelo (2005). Es válido aclarar que solo se establece esta clasificación si la distribución de la lámina a lo largo de la máquina es uniforme o que las alteraciones en la distribución de agua se encuentren en los primeros tramos de la máquina. En la Tabla 3 se refleja

TABLA 3. Clasificación de calidad de riego partiendo de porcentajes de ARA

Criterio de área regada según Tarjuelo (2005)	Porcentaje de Área Regada Adecuadamente (ARA)
Área muy bien regada	Mayor al 66%
Área bien regada	Entre 57% y 66%
Área inadecuadamente regada	Menor del 57%

Nota: se establece esta clasificación para distribución de la lámina a lo largo de la máquina uniforme o las alteraciones en la distribución de agua se encuentren en los primeros tramos de la máquina.

CONCLUSIONES

- De las variantes estudiadas el mejor funcionamiento se tiene para las condiciones de estudio con la: **“boquilla difusora IIRD a 1m de altura, sin regulador de presión y con contrapesos”**, y esto lo demuestra los valores obtenidos de coeficiente de uniformidad de Hermann y Hein (CU_h), uniformidad de distribución ($UD_{25\%}$) y coeficiente de uniformidad de variación (CU_v).
- La clasificación de calidad de riego, para una máquina de pivote central con estas características, se establece

teniendo en cuenta el criterio del porcentaje de área regada adecuadamente, partiendo del hecho de que la distribución de la lámina a lo largo de la máquina sea uniforme o que las alteraciones en la distribución de agua se encuentren en los primeros tramos de la máquina.

- Del trabajo se pudo comprobar que no existe influencia de la $UD_{25\%}$ en el porcentaje de área adecuadamente regada lo que se refleja en los bajos valores del coeficiente de determinación y correlación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BREMOND, B.; B. MOLLE: "Characterization of rainfall under center pivot: influence of measuring procedure", *J. Irrig. Drain. Eng.*, 121(5): 347-353, 1995.
- CÁRDENAS, J. F.: *Estudio del uso de la boquilla difusora cubana en las máquinas de riego de pivote central, Tesis (en opción al título de Master en Riego y Drenaje)*, La Habana, Cuba, 2000.
- GONZÁLEZ, P.: *Mejoramiento del uso y explotación de los difusores de baja presión y bajantes, en las maquinas de riego por aspersión*, Informe final. Proyecto 22-18, IIRD, La Habana, Cuba, 2006.
- HEERMANN, D.F.; R. HEIN: "Performance characteristics of self-proped center pivot sprinkler irrigation system", *Transactions of the ASAE* 11(1): 11-15, 1968.
- HEINEMANN, B. A., A. FRIZZONE; M. PINTO; J.C. FEITOSA: *Influencia da Altura do Emissor na Uniformidades de Distribuição da Água de um Pivô Central*, São Paulo, Brasil, 1997.
- KINCAID D. C.: "Sprinkler Pattern Análisis for Center Píivot Irrigation. Irrigation". *Business and Technology*, IV(4): 14-15, 1996.
- MONTERO, J.; M. TARJUELO; L. TEBAR; F. LOZANO; T. HONRUBIA: Análisis de la distribución de agua en riegos con equipos pivót. En: **XV Congreso Nacional de Riegos**, pp. 481-490, Lleida, España, 1997.
- NC ISO 11545.: *Máquinas agrícolas para riego – Pivotes centrales y maquinas de avance frontal equipadas con boquillas difusoras o aspersores- determinación de la uniformidad de distribución del agua*, (ISO 11545:2001, IDT), Vig. 2005.
- OTECH: *Nomenclatures, Píivot ST168*, Groupe IRRIMEC, Paris, France, 2001.
- TARJUELO, J.M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, 569pp., Ed. Mundi-Prensa. Tercera edición, Madrid, España, 2005.



Universidad Agraria de La Habana

CENTRO DE MECANIZACIÓN AGROPECUARIA

El Centro Rector de la Ingeniería Agrícola en Cuba



Investigación de la Mecanización Agrícola, utilizando Sistemas Conservacionistas y Sustentables.



Cursos y Entrenamientos de Posgrado, Maestrías y Doctorados en Ingeniería Agrícola;



Editor de la Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, publicación trimestral en idioma español;



Servicios Científico-Técnicos:



Solicitudes de ofertas a:
Dr. Pedro A. Valdés Hernández
Centro de Mecanización Agropecuaria
Autopista Nacional y Carretera de Tapaste. km 23, San José de las Lajas, La Habana, Cuba. Apdo. 18-19
Tel.: (53)(47) 864346
E_mail: pvaldes@isch.edu.cu

Maquinaria Agrícola & Instrumentos de Medición:

- Balanza Electrónica para el Pesaje de Ganado;
- Balanzas para Cerdos y Ovinos.

Laboratorio de Oleohidráulica:

- Descontaminación de Aceites;
- Fabricación de Equipos Portátiles de Filtraje de Aceites;
- Recuperación (Emboquillado) & Fabricación de Mangueras;
- Diagnóstico y Evaluación de Circuitos Oleohidráulicos y sus Componentes;
- Cursos y Entrenamientos de Capacitación en Oleohidráulica.