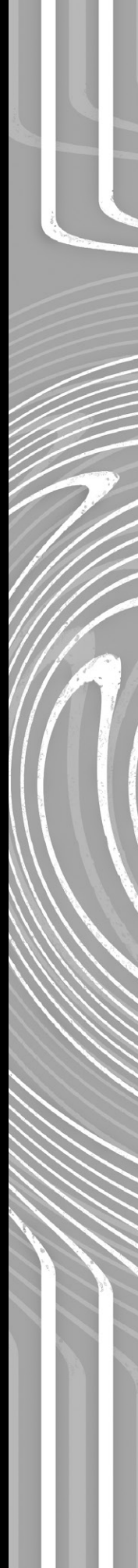


7.

Pivotes en Uruguay Evaluación de su funcionamiento

**P. Morales, *M. García, **C. García, *A. Beretta,
**G. Moreno, *G. Camio*

**Facultad de Agronomía, Avda. E. Garzón 780
Montevideo. Uruguay./ pmorales@fagro.edu.uy/
**INIA Las Brujas/ Ruta 48 km 10, Rincón del Colorado,
Canelones. Uruguay/ cgarcía@inia.org.uy*



1. Introducción

En Uruguay el sector agropecuario ha experimentado en los últimos años un extraordinario crecimiento impulsado en base al incremento de la productividad sobre un escenario de altos precios de las materias primas y de los alimentos. Dentro de los rubros con mayor crecimiento y dinamismo se destacan la agricultura y la lechería con un aumento exponencial en el área de siembra y en la producción respectivamente (OPYPA, 2011). Actualmente existe una fuerte presión y competencia entre los distintos rubros de producción por el recurso tierra y a su vez la intensificación de la producción ha llevado a un aumento de las necesidades de agua por unidad de área (Sawchik et al., 2010).

En respuesta a este nuevo escenario del agro la adopción del riego en los sistemas de producción agrícola y pastoril es cada vez más frecuente, a efectos de obtenerse mayores rendimientos y estabilidad de la producción. En Uruguay los sistemas riego presurizados con pivotes centrales están siendo uno de los métodos más utilizados para regar cultivos extensivos y pasturas en grandes superficies.

El número de pivotes se ha incrementado en forma exponencial en los últimos 10 años pasando de unos pocos equipos a más de 350 equipos, representando actualmente un área de 30 mil hectáreas (RENARE-MGAP, datos no publicados). Si bien el porcentaje del área regada con pivotes centrales es aun pequeña en comparación con el total del área sembrada de cultivos de verano y de pasturas, se está marcando una tendencia creciente del uso de pivotes centrales en los sistemas agrícolas y pastoriles de Uruguay.

Los pivotes centrales son utilizados para regar grandes superficies, destacándose por su relativo bajo costo energético de funcionamiento, fácil automatización, bajos requerimientos de mano de obra, alta frecuencia de aplicación, y alta uniformidad de aplicación (Tarjuelo, 2005; Ortiz et al., 2010; Montero et al., 2012). Estos equipos riegan un área circular de 10 a 200 ha, con largos de lateral de menos de 100 m a más de 800 m, con una pluviometría de descarga que aumenta desde el centro del lateral hasta su extremo. Esta última característica de diseño es necesaria para poder aplicar la misma lamina de riego a lo largo de todo el lateral, debido a que la velocidad radial aumenta desde el centro al extremo del pivote. Los valores de pluviometría máxima pueden variar en el extremo del equipo desde 40 mm.h⁻¹ a 155 mm.h⁻¹ (Tarjuelo, 2005).

En nuestro país debido al reciente desarrollo del riego con pivotes centrales hay muy pocos trabajos de investigación que aborden la evaluación del funcionamiento y el manejo de los equipos en las distintas situaciones de producción (tipo de suelo, topografía del terreno). En una consultoría realizada por la unidad de Hidrología de la Facultad de Agronomía, se obtuvieron valores de Coeficiente de Uniformidad de Heermann y Hein (CUh) por debajo de los recomendados en uno de los dos equipos evaluados (datos no publicados). Resultados similares encontraron Mena et al., (2010) al evaluar tres pivotes centrales en el estado de Yucatán, y obtener valores de Uniformidad de Distribución (UD) y CUh por debajo de los recomendados,

habiéndose detectado problemas de diseño en dos de los tres equipos evaluados.

De acuerdo a Ortiz et al., (2010) valores de CUh de 80 % en riegos individuales con pivote central pueden ser suficientes para alcanzar una buena uniformidad de producción, ya que el correspondiente CU del agua en el suelo puede superar fácilmente el 90 %. De acuerdo a estos resultados, CUh de riegos individuales superiores al 90% no incrementan en forma significativa la uniformidad del agua en el suelo, ni la producción final del cultivo. Resultados similares reportaron otros investigadores al realizar evaluaciones de campo de equipos pivotes centrales (Jensen, 1980; Keller y Bliesner 1990).

Según Louie and Selker (2000) la uniformidad de aplicación del sistema de riego contribuye a optimizar el consumo de agua y de la energía, permitiendo obtener adecuados rendimientos de los cultivos, minimizando el impacto ambiental por excesos del agua aplicada en los sistemas con baja uniformidad de aplicación. La falta de uniformidad puede afectar el rendimiento del cultivo y la eficiencia en el uso del agua (Montovani et al., 1995; Li et al., 1996). El conocimiento de la uniformidad de aplicación y de las láminas de riego aplicadas es de suma importancia, ya que ambos parámetros permiten evaluar el funcionamiento de los equipos y el manejo del riego respectivamente.

En este nuevo escenario de incorporación del riego en cultivos extensivos mediante el uso de pivotes centrales, es importante realizar un diagnóstico del funcionamiento de estos equipos a partir de una evaluación sistematizada de los mismos. La información generada permiti-

ría mejorar el diseño y la operación de los pivotes centrales en las condiciones de producción de Uruguay, contribuyendo a un uso más eficiente de las fuentes de agua y de la energía utilizada, permitiendo alcanzar el mayor beneficio económico de aplicación de riego con el menor impacto ambiental.

2. Resultados

2.1 Principales características de diseño de los pivotes centrales en Uruguay

2.1.1 Longitud de equipos y diámetros de las tuberías laterales

Para el estudio de los pivotes centrales instalados en Uruguay se elaboró una base de datos con las características técnicas de 242 equipos registrados en la RENARE del MGAP. En el cuadro N°1 se presenta una clasificación de los pivotes centrales en función del largo de lateral, área regada, número y largo de torre.

De acuerdo a la clasificación del cuadro N° 1 el 7% de los pivotes centrales presentan longitudes de lateral menores a 300 m, el 60 % de los equipos presentan largos de lateral que varían de 300 a 500 m, cubriendo un área regada de 28 a 78 ha. El restante 33 % de los equipos corresponden a pivotes de tamaño grande con longitudes de lateral que varían de 500 a 700 m (30%) y de 700 a 800 m (3%) para regar un área de 113 a 152 ha y de 153 a 200 ha respectivamente.

El 60 % de los pivotes centrales son equipos fijos para regar un solo círculo y el restante 40%

Cuadro N° 1. Longitud y diámetro del lateral, número de torres, longitud de torre de los pivotes.

Número de pivotes	Longitud de lateral (m)	Área (ha)	Número de torres	Longitud de torre (m)	DN* del lateral (mm)
17	<300	1 a 27,5	1 a 5	47- 54.6 - 61	168
58	300 - 400	28 a 49	6 a 7	54.6 - 61	168
86	400 - 500	50 a 78	7 a 9	49- 54.6- 61	219.1- 168
47	500 - 600	79 a 112	9 a 11	49 - 54.6	219.1- 168
26	600 - 700	113 a 152	11 a 14	48- 54.6- 61	219.1- 168
8	700 - 800	153 a 200	14 a 16	48- 54.6	254 - 219.1- 168

*DN: Diámetro Nominal

Fuente: Elaborado con registros de la RENARE

corresponde a pivotes portátiles diseñados para regar más de un círculo por equipo. El número de pivotes centrales portátiles se ha incrementado en los últimos años, siendo una particularidad de diseño de los equipos utilizados en Uruguay.

Los diámetros nominales de las tuberías laterales varían en función del largo del equipo y de los caudales de diseño. Los equipos con laterales menores a 400 m de largo son diseñados con un solo diámetro de tubería lateral (168 mm) y con diferentes separación entre torres (47, 54,6 y 61 m), los laterales de 400 a 700 m de largo son diseñados con tuberías multidiámetros (219 y 168) y con las siguientes separación entre torres (48, 54.6, 61 m). En los equipos con laterales superiores a 700 m de largo también se utilizan tuberías multidiámetros con la combinación de hasta tres diámetros (254, 219 y 168 mm) con separación entre torres de 48 y 54.6 m.

2.1.2 Láminas de diseño de los pivotes centrales

En la figura N°1 se presenta la distribución de los pivotes centrales en función de la lámina diaria aplicada (lamina bruta). Los rangos de valores de las láminas brutas de la figura N°1 corresponden a las máximas láminas que los equipos pueden aplicar por día, con un giro completo del equipo al 100% de la velocidad de avance de la última torre. Los datos que se presentan se elaboraron con la información de 122 equipos analizados.

Las láminas brutas aplicadas por los equipos variaron desde 3 hasta 8 mm por día, excepcionalmente se registró un equipo diseñado para aplicar una lámina de 8.7 mm. El 21 % de los pivotes están diseñados para aplicar láminas de 3 a 3.9 mm, el 48 % aplican láminas de 4 a 5.9 mm, el 28.5 % y 2.4 % aplican láminas de 6 a 7.9 mm y de 8 a 8.9 mm respectivamente. De acuerdo a la distribución presentada en la figura N°1 los valores de las láminas de diseño son muy diferentes y por consiguiente la capacidad de cubrir los requerimientos hídricos de los cultivos en los periodos de máxima demanda van a ser variables.

En la región centro-sur del país la evapotranspiración de los cultivos de maíz y soja alcanzan valores de 7,4 y 7 mm por día respectivamente, en el periodo de máxima demanda (ETc máxima). Si se comparan estos valores de ETc máxima con las láminas aplicadas por los equipos, el 30 % de los pivotes que aplican láminas brutas de (6 a 8 mm) estarían cubriendo del 85 al 100 % de la ETc máxima para maíz y soja. El 48 % de los equipos están diseñados para cubrir del 55 a 80 % de la ETc máxima y el restante 22 % de los pivotes cubrirían valores menores del 50 % de la ETc máxima.

Es importante aclarar que las láminas aplicadas por los equipos corresponden a valores de láminas brutas, por consiguiente los valores de las láminas netas que es lo que realmente queda disponible para el cultivo serán aún menores a los valores presentados en la figura N° 1. Los va-

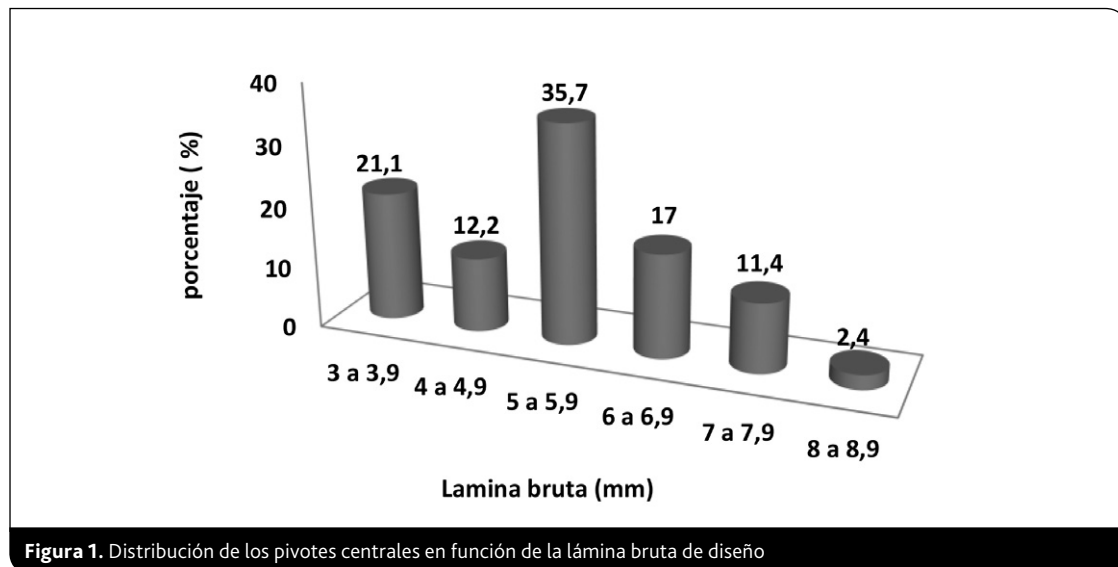


Figura 1. Distribución de los pivotes centrales en función de la lámina bruta de diseño

lores de las láminas netas aplicadas van a variar en función de la eficiencia de aplicación de los pivotes centrales, la cual dependerá de la uniformidad de aplicación y del manejo del riego que se realice en cada equipo. Cuando se aplica un riego, no toda el agua queda almacenada en la zona radicular, sino que una parte se pierde por evaporación, escorrentía y percolación profunda, variando la magnitud de las pérdidas en función del método de riego y el tipo de suelo (López-Mata et al., 2010).

En Uruguay los pivotes centrales están diseñados para aplicar riegos deficitarios cubriendo un porcentaje variable del ETC máxima en función de los valores de diseño de las láminas brutas aplicadas. El riego deficitario es una estrategia de manejo del riego cada vez más utilizada en el mundo, en donde se aplican dosis de riego menores al 100 % del ETC, a efectos de obtener un ahorro de agua, sin afectar en forma significativa los rendimientos de los cultivos. De esta forma se busca obtener la mayor eficiencia del uso del agua por el cultivo que es la relación entre el rendimiento y el agua evapotranspirada por el cultivo. Debido a la dificultad de determinar el agua realmente consumida por el cultivo, se utiliza la relación rendimiento y agua recibida por el cultivo (riego aplicado y lluvias) y se utiliza el término eficiencia del agua recibida por el cultivo (ERAC), (López-Mata, et al., 2010).

En nuestro país INIA y Facultad de Agronomía están realizando ensayos de repuesta al riego deficitario en cultivos de maíz y soja, a efectos de generar información del efecto del riego deficitario en los rendimientos de los cultivos. La información obtenida de los ensayos será de gran utilidad para poder definir cuáles serían las láminas de diseño más adecuadas para los pivotes centrales para alcanzar el máximo beneficio económico de la aplicación del riego en cultivos extensivos y pasturas. Como ya se discutió los pivotes centrales están diseñados con láminas muy variables y es difícil determinar a priori cuál de los diseños es el más recomendable sin conocer la repuesta de los cultivos a las dosis de riego deficitario.

2.1.3 Evaluación del funcionamiento de los pivotes centrales

Para realizar las evaluaciones se seleccionaron dieciséis equipos en función de las caracterís-

ticas técnicas de los mismos. La longitud de los laterales vario desde 398 a 802 m, a efectos de evaluar una muestra representativa de los equipos utilizados en Uruguay. Las evaluaciones se realizaron en tres regiones del país: litoral oeste, centro sur y zona este con el objetivo de obtener diferentes condiciones de topografía y de tipo de suelos dominantes en los sitios de evaluación.

Las evaluaciones se realizaron siguiendo la metodología propuesta por las normas internacionales: ANSI/ASAE S436.1 JUN 1996.). Para realizar las pruebas de uniformidad se instalaron pluviómetros a 3 metros de distancia distribuidos en dos radios ubicados en tresbolillo a lo largo del lateral del pivote central. Durante la prueba se realizaron determinaciones de la velocidad del viento con anemómetro portátil, de la humedad relativa y de la temperatura con sensores portátiles. Mediante el uso de un nivel taquímetro se realizó el perfil topográfico de cada sitio evaluado para determinar la pendiente del terreno y las diferencias de cota a lo largo del lateral.

En el cuadro N°2 se presentan las principales características técnicas de los pivotes centrales evaluados (longitud de lateral, presión al centro del pivote, lámina de diseño, tipo de emisor y cañón en el extremo del equipo). Los valores de las láminas corresponden a las láminas brutas de diseño aplicadas en un giro completo a la máxima velocidad del equipo. Los emisores utilizados en la mayoría de los pivotes evaluados corresponden al modelo I-WOBBLER UP3, también en algunos equipos se utilizaron los emisores ROTATOR y SPRAY. Los emisores I-WOBBLER UP3 trabajan a bajas presiones (0,69 a 1,38 Bars), con caudales que varían desde 180 a 4811 L.h⁻¹ en función de la presión operativa y el tamaño de boquilla utilizado, con diámetros mojados que varían de 9 a 18 m.

Cuadro N° 2. Características técnicas de los pivotes centrales evaluados

N° Pivote	Marca del pivote	Número de torres	Largo de lateral (m)	Presión centro pivote (bars)	Lámina bruta de diseño (mm)	Modelo de emisor	Radio del cañon (m)
1	A	7	436	3,8	6,3	Iwobbler	15
2	B	7	398	2,7	5,4	Iwobbler	15
3	B	7	430	1,9	9,9*	Iwobbler	15
4	B	8	425	3,8	5,4	Iwobbler	15
5	B	8	488	3,0	5	Iwobbler	16
6	A	9	496	5,8	7,6	Iwobbler	---
7	C	10	487	4,0	5,8	Iwobbler	---
8	B	11	560	2,0	7,1	Rotator	---
9	D	10	547	3,4	3,5	Spray	16
10	B	10	558	s/d	7,4	Rotator	---
11	B	12	655	3,3	5,4	Iwobbler	---
12	B	13	651	3,7	8,9	Rotator	---
13	C	14	655	3,0	10	Iwobbler	---
14	B	15	680	1,9	6,35	Iwobbler	---
15	B	17	730	1,6	s/d	Iwobbler	---
16	B	19	802	1,0	7,2	Iwobbler	---

* Lámina aplicada al 36% de la velocidad máxima. s/d sin dato

2.2.1 Descripción de los parámetros evaluados

Se determinaron los siguientes parámetros de evaluación a partir de las pruebas de campo: Coeficiente de uniformidad de Heermann y Hein (CUh), Uniformidad de distribución (UD), Lámina media ponderada recogida (Mc), Lámina media recogida (LRM), Pluviometría media aplicada en el extremo del equipo (PM).

(CUh) - Coeficiente de Uniformidad de Heermann y Hein

$$CUh = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n Di * |Ci - Mi|}{\sum_{i=1}^n Ci * Di} \right] * 100$$

Siendo:

n = Número de pluviómetros

Di = Distancia del centro pivote al pluviómetro i .

Ci = Cantidad recogida por el pluviómetro i (con i variando entre 1 y n)

Mc = Media ponderada de las cantidades recogidas por los n pluviómetros.

$$Mc = \frac{\sum_{i=1}^n Ci * Di}{\sum_{i=1}^n Di}$$

(UD) - Uniformidad de distribución

$$UD = \frac{L_{25\%}}{LMR}$$

En donde:

$L_{25\%}$ - Lámina media recogida en el 25 % de los pluviómetros que reciben menos agua

LMR - Lámina media recogida en todos los pluviómetros

(P_M) - Pluviometría media en el extremo

$$P_M = \frac{LMR(mm) * V(m/h)}{2 * ra(m)}$$

En donde:

v - Velocidad de avance de la torre exterior

LMR - Lámina media recogida

ra - Radio mojado por el emisor en el extremo del pivote

2.2.2 Coeficiente de Uniformidad de Heermann y Hein, y Uniformidad de Distribución

En la figuras N° 2 y 3 se presentan los valores del Coeficiente de Uniformidad de Hermann y Hein (CUh) y la Uniformidad de Distribución (UD) de las evaluaciones realizadas en dieciséis pivotes centrales. El valor mínimo aceptable del CUh para un equipo pivote central corresponde a 80 %, el cual esta representado en la figura N° 2 con una línea horizontal continua. De los dieciséis equipos evaluados trece presentaron valores de CUh que variaron de 80 a 87%, estos valores corresponden a buenas (80 a 85%) y muy buenas (>85%) uniformidades de aplicación. En cambio los tres equipos restantes que representan el 20% de los pivotes evaluados obtuvieron uniformidades de aplicación no aceptables, con valores muy bajos de CUh (54, 63 y 71%).

Los tres equipos que obtuvieron bajas uniformidades de aplicación presentaron problemas de baja presión a la entrada del pivote y a lo largo del lateral, y un mal mantenimiento de los emisores debido al taponamiento de las boquillas, faltante de boquillas y pérdidas de agua a lo largo del lateral. La combinación de todos estos factores afectaron directamente la uniformidad de aplicación y la uniformidad de distribución (UD).

La uniformidad de distribución del agua aplicada (UD) es un parámetro que se utiliza para evaluar la magnitud de los problemas de la aplicación del agua. Los valores UD obtenidos en los equipos evaluados presentaron la misma tendencia que los valores de CUh, los pivotes con valores más altos de CUh (81 a 87%) obtuvieron también los mayores valores de UD (71 a 85%), y los equipos que presentaron peores UD (26 a 70 %) se correspondieron con los valores mas bajos de CUh (50 a 71 %) (Figura 3).

De acuerdo a los resultados de las evaluaciones realizadas, los pivotes centrales son equipos que pueden alcanzar altas uniformidades de aplicación si se obtiene una adecuada combinación entre el diseño y operación de los mismos. Un manejo incorrecto de los pivotes centrales debido a su operación con presiones por debajo de las requeridas y un mal mantenimiento de los emisores repercuten directamente en la uniformidad de aplicación y en la uniformidad de distribución; por consiguiente se obtendra una baja eficiencia de aplicación impidiendo alcanzar el potencial de diseño de estos equipos.

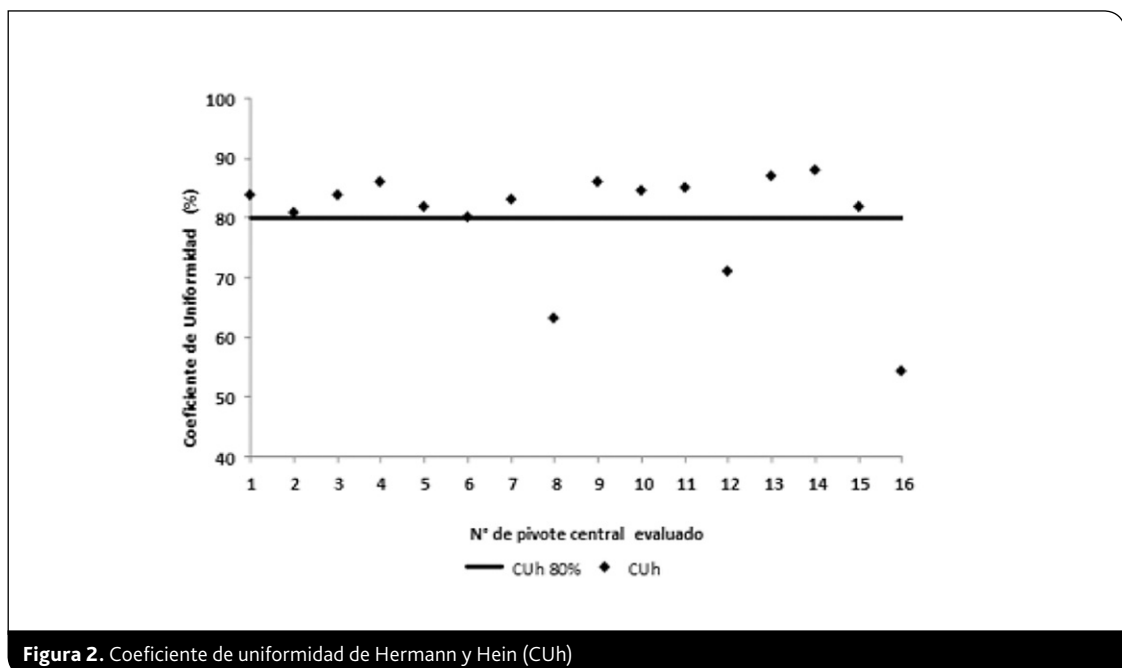


Figura 2. Coeficiente de uniformidad de Hermann y Hein (CUh)

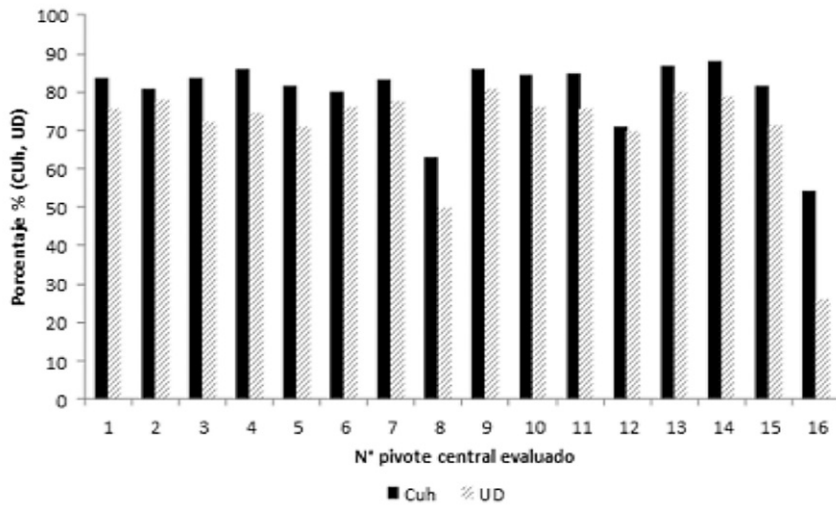


Figura 3. Coeficiente de Uniformidad de Heermann y Hein (CuH), y Uniformidad de distribución (UD)

2.2.3 Evaluación de las láminas aplicadas por los pivotes centrales

En la figura N° 4 se presenta la comparación de los valores de las láminas de diseño que deberían aplicar los equipos de acuerdo a la información del fabricante y las láminas medidas en las evaluaciones de campo. Las láminas medidas pre-

sentaron valores inferiores a las láminas de diseño a excepción del pivote N°3, en donde la lámina medida fue superior a la de diseño. Los resultados obtenidos son esperables, debido a que durante la aplicación del agua se producen pérdidas por evaporación y arraste, y por consiguiente las láminas medidas van hacer menores a los valores de las láminas de diseño aplicadas.

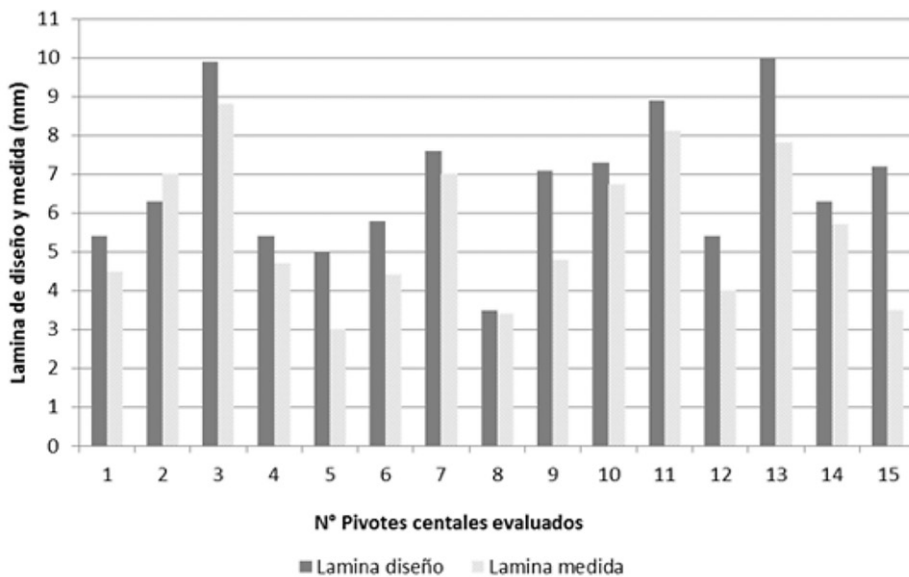


Figura 4. Láminas de diseño y láminas medidas en los pivotes centrales

La magnitud de las pérdidas por evaporación van a depender principalmente de la humedad del ambiente (%), de la temperatura del aire y del agua, la altura del emisor, del tamaño de gota y la velocidad del viento, mientras que las pérdidas por arrastre dependen de la velocidad del viento, del tamaño de las gotas y la distancia que tenga que recorrer la gota hasta llegar al suelo (Tarjuelo, 2000). Según King et al., (1998) trabajando con pivotes de baja presión obtuvieron pérdidas por evaporación y arrastre de 12 % y 5 % para alturas de 4 m y 2 m respectivamente. Abo-Ghobar (1992) trabajando en clima desértico obtuvo pérdidas de 15,6 %; 21,2 %; y 35,8 % para alturas del emisor de 1,25 m; 1,75 m; y 2,5 m respectivamente.

Los valores de las láminas medidas de acuerdo a los porcentajes de las pérdidas por evaporación y arrastre, no deberían variar más de un 10 a 20 % por debajo del valor de las láminas de diseño de los equipos evaluados. En la figura N°4 los pivotes N°5, 9, 13 y 15 presentaron valores de láminas medidas muy bajos en comparación a las láminas de diseño, valores de 33 a 42 % por debajo de las láminas de diseño. En el resto de los pivotes evaluados las diferencias entre las láminas de diseño y las medidas estuvieron dentro de un rango tolerable de 3 a 20%.

Los equipos que tuvieron láminas medidas muy inferiores a las de diseño (33 a 42 %) no estarían aplicando sus respectivas láminas de diseño. Si bien en este trabajo no fue posible

medir el caudal de los pivotes debido a que no se disponía del equipamiento requerido, si se realizaron mediciones de presión a la entrada del equipo y a lo largo del lateral, y se detectaron valores bajos de presión en estos pivotes evaluados. Los bajos valores de la presión medidos en los equipos estarían indicando que los caudales aplicados por los pivotes serían inferiores a los requeridos para aplicar las respectivas láminas de diseño.

2.2.4 Determinación de la pluviometría media aplicada en el extremo de los pivotes

La pluviometría aplicada por los pivotes centrales es un parámetro importante que se debe considerar a lo ahora de realizar el diseño de los equipos, a efectos, de evitar problemas de escurrimiento y de erosión del suelo durante la aplicación del riego. En Uruguay no es recomendable el uso de pivotes centrales con altas pluviometrías de aplicación debido a la topografía ondulada de los terrenos con pendientes medias de 3 % y a la existencia de suelos de textura pesada con bajas velocidades de infiltración que toleran bajas intensidad de aplicación.

En la figura N°5 se presenta la relación entre la pluviometría media aplicada en el extremo y la longitud del lateral de los pivotes evaluados. Si bien no se obtuvo un buen ajuste con el modelo lineal ($R^2 = 0,52$) se observa una tendencia de un aumento de la pluviometría media en el extremo con el largo del lateral. Los pivotes centrales

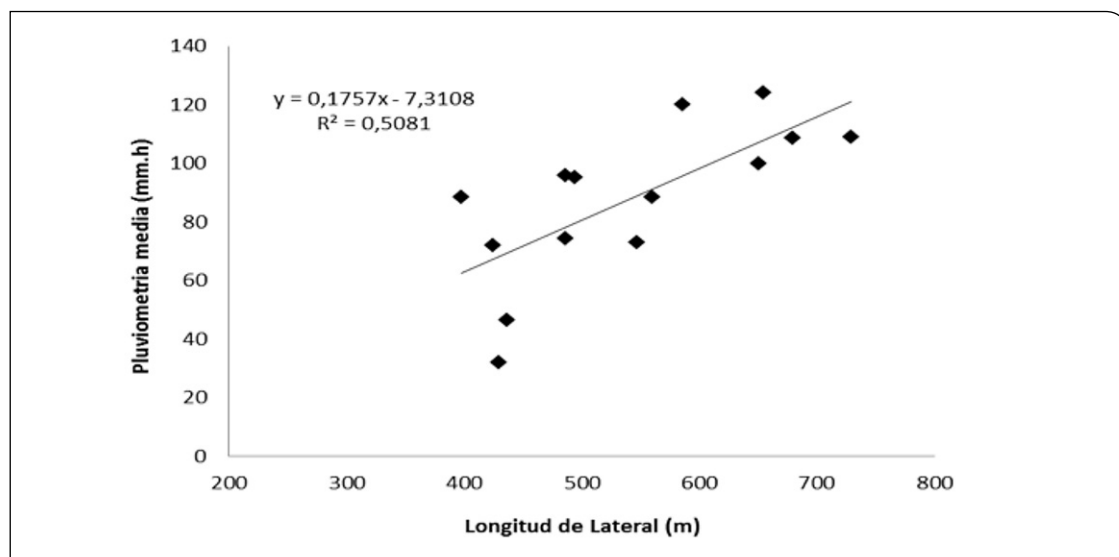


Figura 5. Pluviometría media aplicada en el extremo en función del largo del lateral

de menor longitud (400 a 560 m) presentaron las menores pluviometrías con valores de 40 a 88 mm.h⁻¹, y los equipos de mayor longitud (600 a 800 m) presentaron las mayores pluviometrías con valores de 100 a 120 mm.h⁻¹.

De acuerdo a los valores de pluviometría obtenidos los equipos de mayor longitud (600 a 800 m) tienen mayores riesgos de generar problemas de escorrentía y de erosión en las últimas torres del equipo. Si bien en las evaluaciones realizadas no se registraron problemas de escurrimiento y encharcamiento, se debe aclarar que las pruebas de evaluación se hicieron a la máxima velocidad del equipo (menor lámina aplicada) y con niveles bajos de humedad del suelo, condiciones que atenúan el riesgo de escorrentía.

3. Consideraciones finales

En las condiciones de producción de Uruguay los pivotes centrales son equipos que pueden alcanzar altas uniformidades de aplicación si se obtiene una adecuada combinación entre el diseño del equipo y la operación de los mismos. Un manejo incorrecto de los pivotes centrales debido a su operación con presiones por debajo de las requeridas y un mal mantenimiento de los emisores repercutirán directamente en las láminas aplicadas, en la uniformidad de aplicación, y en la eficiencia de aplicación del equipo pivote central.

En zonas con fuertes pendientes (3 a 6 %) y en suelos de textura pesada la utilización de pivotes centrales de gran longitud (600 a 800 m) pueden presentar problemas de escurrimiento y erosión debido a los altos valores de las pluviometrías aplicadas en el extremo de los equipos.

El caudal de diseño y por consiguiente la lámina de diseño aplicada por los pivotes centrales es el parámetro de partida que se debe considerar a la hora de seleccionar un equipo para cubrir los requerimientos hídricos del cultivo de punta, en un determinado sistema de producción.

Los pivotes centrales que son importados en Uruguay son diseñados con láminas de aplicación en la mayoría de los casos por debajo de los requerimientos del cultivo y por consiguiente la capacidad de cubrir la evapotranspiración del cultivo sólo es posible con el complemento de las precipitaciones, cuando éstas ocurren.

Las investigaciones que vienen realizando Facultad de Agronomía e INIA en relación a la repuesta de los cultivos de maíz y soja a diferentes dosis riegos deficitarios serán un gran apoyo a la hora de determinar la lámina de diseño que deben aplicar los pivotes centrales para obtener el mayor beneficio económico de la aplicación del riego.

Bibliografía

Abo-Ghobar , H.M. 1992. Losses from low pressure center-pivot irrigation systems in a desert climate as affected by nozzle height. *Agric. Water Manage.* 21: 23-32. pp

Anuario OPYPA. 2011. Ministerio de Ganadería y Agricultura y Pesca. 431 pp.

Keller, J.; and Bliesner, R. 1990. *Sprinkle and trickler irrigation*, Chapman and Hall, New York.

Jensen 1980. Design and operation of farm irrigation systems. ASAE, monograph number 3. St Joseph, Michigan, USA.

King, B.; Kincaid, D. 1998. Optimizing performance of pivot sprinkler packages. Online Edition (*Agricultural Irrigation*). <http://www.irrigation.org/ibt/9810>

Li, J.; Kawano, H. 1996. The areal distribution of soil moisture under sprinkler irrigation. *Agricultural Water Management.* 32: 29-36.pp

López-Mata, E.; Tarjuelo, J.M.; de Juan, J.A.; Ballesteros, R.; Domínguez, A. 2010. Efecto de la uniformidad de riego en el rendimiento económico de un cultivo. 1er Seminario Internacional Riego extensivo en cultivos y pasturas. Paysandú/Uruguay/agosto 2010, pp. 141-153.

Louie, M.; and Selker, J. 2000. Sprinkler head maintenance effects on water application uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering.* May/Jun. 142-148.pp

Mantovani, E.C.; Villalobos, F.J.; Orgaz, F.; Ferreres, E. 1995. Modelling the effects of sprinkler irrigation uniformity on crop yield. *Agricultural Water Management.* 27: 243-257.pp

Mena, M.; Helbert, A.; Tijerina-Chávez, L.; Acosta-Hernandez, R.; Mejiga- Sáenz, E. Evaluación técnica y económica del manejo de equipos de pivote central. Terra Latinoamerica. Vol 28. N°2, abril-junio, 2010, pp. 177-184.

Montero J., Martínez A., Valiente M., Moreno M.A., Tarjuelo J.M. 2012. Analysis of water application cost with a centre pivot system for irrigation of crop in Spain. Irrig Sci. Vol 31:507-521.pp

Ortiz, J.; de Juan, j.; Tarjuelo, J.M. 2010. Analysis of water application uniformity from a centre pivot irrigator and its effect on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield. Biosystems Engineering. Vol 105: 367-379.pp

Sawchik, J.; Mas, C.; Pérez Gomar, E.; Bermúdez, R.; Pravia, V.; Giorello, D.; Ayala, W. Riego suplementario en pasturas: antecedentes de investigación nacional, 1er Seminario Internacional Riego extensivo en cultivos y pasturas. Paysandú/Uruguay/agosto 2010, pp.141-153.

Solomon, K.; Kinkaid, D.; Bezdek J. 1996. Drop size distribution for irrigation spray nozzles.

Trans ASSAE 28, 6: 1966-1974 pp.

Tarjuelo, J.M. 2005. El riego por aspersión y su tecnología. 3ª. Edición. Ediciones Mundi Prensa. Spain. 582 pp.