

## DESEMPEÑO DEL RIEGO DE EQUIPOS DE PIVOTE CENTRAL EN LA PROVINCIA DE MENDOZA, ARGENTINA\*

*José Morábito<sup>1,2</sup>, Emilio Rearte<sup>2</sup>, Carlos Schilardi<sup>2</sup>, Leandro Martín<sup>2</sup> y Santa Salatino<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Andino. <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Belgrano Oeste 210. Ciudad, Mendoza. Email: [jmorabito@ina.gob.ar](mailto:jmorabito@ina.gob.ar). Tel/FAX: (+54 261 4286993).

### RESUMEN

En las zonas áridas, donde la agricultura es la mayor demandante de agua compitiendo fuertemente con el resto de los usos, la aplicación eficiente y racional del agua para riego es cada día más valorada. Afortunadamente la tecnología ha desarrollado alternativas para la mejora de esta aplicación a nivel de propiedad y parcela, incorporando presurización al riego por gravedad. En el año 2012 Argentina registraba un total 405.600 ha regadas con pivote en cultivos como soja, trigo y maíz entre otros. Por su parte, Mendoza totalizaba en el 2014 unas 3.750 ha, siendo el oasis Centro el que cuenta con el mayor porcentaje (69 %). El presente trabajo pretende evaluar el desempeño logrado por los sistemas existentes en el oasis Centro y sus objetivos son: determinar las láminas/alturas de agua aplicadas en cada riego y la uniformidad de riego así como elaborar recomendaciones para un mejor aprovechamiento del sistema. Como hipótesis se plantea que la uniformidad del riego no siempre alcanza los valores potenciales esperados. Las evaluaciones a campo siguieron las normas “S436.1” desarrolladas por la Asociación de Riego y el Comité de Riego de la American Society of Agricultural Engineers en el 2001 (ASAE). Se evaluaron seis (6) equipos en funcionamiento en el Dpto. San Carlos (noviembre 2014/ enero 2015), pertenecientes a tres marcas comerciales diferentes que cubrían superficies de 12 hasta 78 ha. Los cultivos regados fueron: maíz, papa, zanahoria y arvejas. Las determinaciones fueron: lámina media aplicada (4,7 mm), lámina media del cuarto más perjudicado (3,8 mm), y coeficiente de uniformidad de Heermann y Hein, CUH (entre 75 y 94 %). La uniformidad de distribución del cuarto más perjudicado (UD1/4) varió entre el 51 y el 90 %. Se analizó la variación de los CUH y UD1/4 en función de la presión en cabecera del sistema y se observó que estos indicadores mejoran cuando la presión de trabajo supera los 2 bares. La mitad de los equipos evaluados mostró una baja uniformidad por lo que se sugiere un mejoramiento de su mantenimiento y operación.

**Palabras clave:** coeficiente de uniformidad, uniformidad de distribución, riego presurizado, aspersión.

**Agradecimiento:** al Ing. Rodrigo Ernesto López, Jefe del Sector Agrícola de La Campagnola SACI - San Martín –Mendoza, por su valiosa ayuda en la coordinación con los productores para asegurar las evaluaciones realizadas. Al Ing. Agr Ignacio Lillo (FCA-UNCuyo) por su colaboración en la evaluación de los sistemas.

## INTRODUCCIÓN

En nuestras zonas áridas de regadío, donde la agricultura es la mayor demandante de agua y compite fuertemente con el resto de los usuarios, la aplicación eficiente y racional del agua para riego es cada día más valorada. Afortunadamente, en los últimos tiempos la tecnología ha resultado ser una importante aliada de este objetivo, permitiendo desarrollar alternativas a la aplicación del riego tradicional (por superficie) incorporando la *presurización* a través del riego localizado -microaspersión y goteo- o del riego por aspersión bajo la forma de alas regadoras, avance frontal y -fundamentalmente- pivote central.

A fines de los años 40, en Colorado (EEUU), un agricultor de 55 años llamado Frank Zybach inventó y patentó lo que hoy es conocido como riego por pivote central y en la actualidad estos sistemas riegan millones de hectáreas de cultivos agrícolas en todo el mundo. Comenzaron desplazando al riego tradicional (gravitatorio) y en la actualidad, en algunas situaciones, superan incluso al riego localizado. Economía en mano de obra, mayor rendimiento de los cultivos, seguridad de cosecha, mayor eficiencia en el uso del agua, consumo racional de energía y agroquímicos y adaptación en terrenos que difícilmente podrían ser regados por otros métodos, son algunas de las ventajas que justifican la predominancia del sistema. Los pivotes pueden regar eficientemente una amplia gama de cultivos; comenzaron a utilizarse en los más tradicionales: maíz -el más asociado-, trigo, soja, remolacha, algodón, papa, etc., para luego pasar con éxito a otros como caña azucarera, arroz, espárragos, otras hortalizas y cítricos.

A pesar de su estructura rígida los pivotes son muy versátiles. De hecho, se adaptan a casi cualquier topografía -con pendientes de hasta un 30 %- sin necesidad de nivelación. Pueden estar fijos o trasladarse y en cuanto a sus dimensiones, van desde una sección -para regar no más de 20 has- hasta 20 secciones (más de 800 m de largo) con capacidad para regar más de 200 has. Los equipos móviles se desplazan sobre conjuntos de dos o tres ruedas por torre y/o hasta cuatro ruedas articuladas las que incluso pueden ser con orugas. Usan como emisores sistemas de aspersores de alta o baja presión, con gran variedad de caudales de trabajo. Sus sistemas de control van desde los manualmente accionados en el mismo pivote hasta los que permiten el control remoto centralizado desde una PC o un teléfono móvil.

Hacia 1979, de los 20 millones de hectáreas bajo riego en EEUU sólo el 17 % era regado mediante sistema de pivote. Para 2003 este porcentaje aumentó al 51 %. En Brasil, uno de los países que lideran el riego por pivote en Latinoamérica, el área bajo riego en 2006 era de 3,4 millones de hectáreas (7.1 % del total agrícola en ese momento). El método de riego por superficie ocupaba por entonces 1.729.800 has; los pivotes centrales 710.600 has (21 % del área irrigada), la aspersión convencional 662.300 has y el riego localizado 337.800 has.

Para ilustrar el avance del riego con pivote central en nuestro país, en tanto, podemos mencionar que en 1977 había 15.700 hectáreas (superficie que no pudo ser discriminada por cultivo). De ese total, la mayoría correspondía a Buenos Aires y a la Región Central (cereales y pasturas). Por el crecimiento explosivo manifestado en zonas no tradicionales de riego (Pampa Húmeda) y su paulatina expansión a las zonas áridas regadías como las de los oasis Norte y Centro de la provincia de Mendoza, los sistemas de pivote central merecen especial atención.

Según el Censo Nacional Agropecuario (INDEC, 2002) Mendoza tenía una superficie agrícola regadía de 267.889 ha y no se registraban áreas regadas por aspersión. Diez años después, Argentina registraba 405.600 ha regadas con pivote en cultivos como soja, trigo, maíz (aproximadamente un 80 %), papa y otros. El 27 % de ese total correspondía a la región Este de la provincia de Córdoba; el 16 % al Norte de Buenos Aires y Sur de Santa Fe y otro 15 % al NOA. A Mendoza se le asignaban 3.000 has (menos del 1.12 %). Al respecto, Morábito, Salatino & Ibáñez (2014) consignan que en enero de 2014, la provincia contaba con 72 círculos y 3.736,5 ha bajo pivote. De esta superficie el Oasis Centro (Valle de Uco) es el que cuenta con la mayor cantidad de hectáreas regadas (69 %), seguido por los oasis Norte (20 %) y Sur (11 %). La superficie unitaria promedio regada por círculos (a la fecha del relevamiento) era de 82 ha en el Oasis Sur y 50 ha, en los dos oasis restantes. Los autores señalan que, si bien por medio del sensoramiento remoto no se ha podido detectar qué cultivos estaban siendo regados, observaciones *in-situ* permiten afirmar que “en el Oasis Centro predominan las rotaciones de papa, ajo, maíz, cebolla, zanahoria y avena”. En los oasis Norte y Sur se encuentra una mayor concentración de avena, maíz, sorgo y girasol. Entrevistas realizadas en distintas visitas de campo a los usuarios se desprende que -en general- están bastante satisfechos con la respuesta de los equipos. Asegurar un adecuado manejo del sistema propiamente dicho y en relación a los distintos cultivos bajo riego representa no sólo un ahorro de agua y de energía de bombeo, sino inclinar la balanza de la rentabilidad para el productor. La evaluación a campo de la uniformidad y de las eficiencias permitirá -una vez conocidas- elaborar recomendaciones de manejo a nivel de técnicos y productores locales tendientes a corregir los posibles puntos débiles del sistema para alcanzar las máximas eficiencias potenciales.

## **HIPÓTESIS**

La eficiencia de riego actual en sistemas tecnificados no siempre alcanza los valores propuestos por las empresas vendedoras.

## **OBJETIVO**

Este trabajo pretende conocer el desempeño de los pivotes centrales instalados en la provincia de Mendoza. Como objetivos particulares se puede enumerar los siguientes:

- Evaluar una muestra representativa de los equipos de riego por aspersión que utilizan pivote central en los oasis Norte y Centro de Mendoza.
- Definir y -de ser necesario- ajustar la metodología de evaluación a las condiciones de la zona de estudio, a los cultivos y al tipo de equipos utilizados en ellas.
- Determinar las laminas/alturas de agua aplicada según velocidad del equipo.
- Determinar la uniformidad de riego alcanzada.
- Dar recomendaciones para un mejor aprovechamiento del sistema.
- Transferir los resultados obtenidos mediante su publicación y/o presentación en distintos foros de discusión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio está localizada en los oasis Norte y Centro de Mendoza. Para la realización de las evaluaciones en los sistemas de pivote se siguió la metodología propuesta en las normas internacionales: ANSI/ASAE STANDAR ASAE S526.1 (Diciembre 96), desarrolladas conjuntamente por la Asociación de Riego y el Comité de Riego de ASAE; aprobadas por el Comité de Normas de la División de Agua del Suelo y ASAE; adoptadas por ASAE de junio de 1983 y vueltas a confirmar en diciembre de 1988; aprobadas como estándar nacional de USA en Mayo de 1989; revisadas editorialmente en junio de 1989; reconfirmadas en diciembre 1989, diciembre de 1990, diciembre de 1991; reafirmadas por ANSI en septiembre de 1992; reafirmadas por ASAE en diciembre de 1992, diciembre de 1993, diciembre de 1994, diciembre de 1995; revisadas en junio de 1996; revisión aprobada por ANSI en octubre de 1997; revisado editorialmente en septiembre de 1998; reafirmado por ASAE en enero de 2001; reafirmado por ANSI en marzo de 2001; reafirmado durante cinco años en diciembre de 2001. Se confeccionó un formulario de evaluación con esta metodología (Tarjuelo Martín Benito, 2005 y Morábito y Salatino, 2014). Los equipos se evaluaron en las condiciones normales de trabajo aprovechando los primeros estados de desarrollo de los cultivos para no interceptar la captación de agua en los pluviómetros (en uno de los casos el ensayo se realizó utilizando el camino de acceso al pivote).

El relevamiento a campo comprendió: a) Datos generales: propietario, finca, localización del pivote, cultivo, fecha y hora; b) Marca y longitud del equipo (número y longitudes de las torres y del alero) y radio efectivamente regado (R); c) Tipos y características de los emisores: difusores, aspersores, de ángulo bajo o normal, con o sin regulador de presión, etc.; d) Diámetro de la tubería de distribución; e) Tipo de bomba impulsora (en los casos en que se pudo); f) Condiciones climáticas: intensidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa; g) Caudal de entrada al equipo (estimado a partir de la medición del caudal en boca de aspersores a razón de 1 a 2 aspersores por torre y alero, tomados en la zona central, multiplicado por el número de aspersores representativos en cada tramo); h) Presión de trabajo en cabecera del sistema; i) Volumen de agua recogido en los pluviómetros (recipientes colectores, espaciados a 3 y 5 m entre sí, con borde del colector simétrico y sin depresiones y su altura -como mínimo- igual a 120 mm). El diámetro de la boca del recipiente será de 1/2 a 1 vez su altura, pero no menor a 60 mm y número de posición de cada uno de ellos, contando desde el centro del pivote; j) Diferencia de elevación entre el centro del pivote y los puntos más altos y bajos en el campo, así como a lo largo de la línea de prueba; k) Posición que se localizará en un esquema respecto al norte geográfico y l) Otras características de la finca y parcela de ensayo recogidas en una ficha de datos oportunamente confeccionada al respecto.

Entre otros aspectos y según indica la metodología se prescindió de los primeros pluviómetros adyacentes al pivote (como máximo el 2 % de la longitud del pivote), sin que por ello se produzcan efectos adversos en la evaluación puesto que este porcentaje representa solamente un 4 % de la superficie regada. Se comprobó visualmente si a lo largo del equipo existían posibles fugas, se registró el modelo de los emisores verificándose si llevaban una o varias boquillas y si los difusores llevaban regulador de presión, se contabilizaron los posibles emisores que estaban obstruidos y se registró cualquier otra anomalía que pudiera encontrarse. Para estimar las pérdidas por evaporación durante el proceso de riego y de lectura y durante el tiempo que el equipo pasaba sobre el área de prueba se colocaron dos pluviómetros. Además durante el ensayo se registró todo tipo de observaciones de interés como el tipo de terreno, la posible escorrentía o encharcamiento, el estado del cultivo, el efecto del goteo continuo por las juntas de unión de la tubería, etc.

El material usado en la evaluación estuvo compuesto por: a) un número suficiente de pluviómetros (entre 100 y 250); b) cinta métrica (50 m y 2 m); c) cronómetro; d) varios manómetros calibrados para control de la presión cabecera del pivote y un manómetro con acoplamiento en forma de «tubo de Pitot» para medir la presión de trabajo en los emisores; e) probetas de 100 ml (precisión de 1 ml) y de 250 ml (precisión de 2 ml). Los datos meteorológicos del día de ensayo se obtuvieron de la página web Contingencias Climáticas del gobierno de Mendoza más cercana a la propiedad evaluada <http://www.contingencias.mendoza.gov.ar/>. Se requirió además de una movilidad para el traslado al campo. En las evaluaciones participaron como mínimo 3 personas.

### **Procesamiento de los datos**

A partir de los datos obtenidos en el ensayo se calculó:

-Altura de agua aplicada ( $D_I$ )

$$D_I (mm) = \frac{1000 * Va_I}{A_c} \quad (1)$$

donde:

$Va_I$ : volumen de agua ajustado aplicado (mL)

$A_c$ : área de la boca del colector ( $mm^2$ )

El volumen ajustado ( $Va_I$ ) es el volumen recogido en cada colector más la cantidad de agua evaporada desde los colectores de control

$$Va_I = V_I + E_I * T_I \quad (2)$$

donde:

$E_I$  = agua evaporada ( $mm \cdot h^{-1}$ )

$T_I$  = tiempo de agua en el colector

- Altura bruta media descargada (AMD): corresponde a la precipitación media descargada por el sistema en cada vuelta completa y se calcula con la expresión:

$$AMD(mm) = \frac{Q_a (l/h) \cdot T_I (h)}{A(m^2)} \quad (3)$$

Siendo

$Q_a$ : caudal descargado

$T_I$ : tiempo que tarda el pivote en dar una vuelta completa

$A$ : superficie regada.

Los volúmenes recolectados en los pluviómetros fueron ponderados multiplicando el volumen recogido en cada pluviómetro por su distancia al origen, ya que lo recolectado en los diferentes puntos

representan áreas cada vez mayores a medida que aumenta la distancia al centro del pivote.

-Altura media de agua ponderada ( $\bar{D}$ )

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i D_i}{\sum_{i=1}^n S_i} = \quad (4)$$

donde:

$S_i$ : Lugar donde estaba ubicado el colector desde el centro del pivote (m)

El valor de la Altura Media Ponderada ( $M_c$ ) es el correspondiente al conjunto de los dos radios de pluviómetros que se disponen al hacer la evaluación.

$$Mc(mm) = \frac{\bar{D}_1 + \bar{D}_2}{2} \quad (5)$$

El coeficiente de uniformidad de un pivote central se calculó utilizando la fórmula modificada de Heermann y Hein (1968):

$$CU_H = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i |V_i - \bar{V}_p|}{\sum_{i=1}^n V_i S_i} \right] \quad (6)$$

donde:

$CU_H$ : es el coeficiente de uniformidad de Heermann y Hein

$n$ : es el número de colectores utilizados en el análisis

$i$ : es un número asignado para identificar un colector particular, comenzando con  $i = 1$  para el colector situado más cerca del centro del pivote y terminando con  $i = n$  para el colector más alejado del mismo.

$V_i$ : es el volumen (o, alternativamente, la masa o altura) de agua recogida en el colector  $i$ -ésimo;

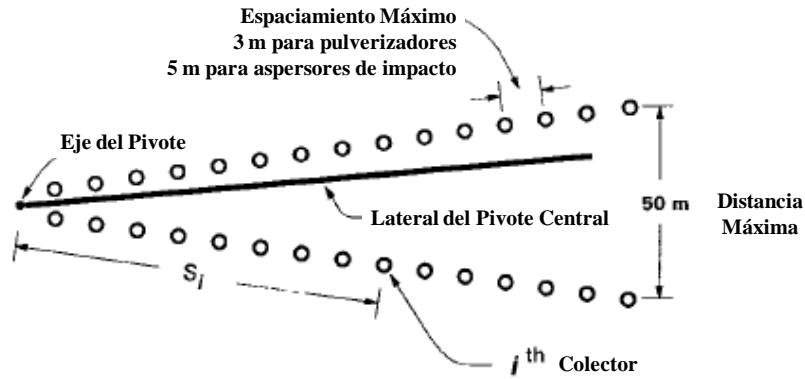
$S_i$ : es la distancia a que se encuentra el  $i$ er colector desde el centro del pivote;

$\bar{V}_p$ : es el volumen medio ponderado de agua colectado.

Se calcula como:

$$\bar{V}_p = \frac{\sum_{i=1}^n V_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (7)$$

La figura 1 presenta el diseño con la ubicación de los colectores. Se considera que una parcela está bien regada cuando se consigue un  $CU_h$  comprendido entre el 85 y 90 %, muy bien regada con valores mayores al 90 % y no adecuadamente regada con valores de  $CU_h$  menores al 85 %.



**Figura 1: diseño de ubicación de los recipientes colectores para la determinación de la distribución de agua de riego en un pivote central**

El valor de  $UD_{1/4}$  se calculó para cada uno de los dos radios de pluviómetros y luego se calculó la media. Para determinar la media ponderada del 25 % de los menores valores recogidos se utiliza un número desconocido de pluviómetros que representan a un 1/4 de los que recogen menor volumen dentro del área regada. La selección de éstos se realiza escogiendo los volúmenes crecientes y manteniendo los números de posición asociados hasta que su suma se aproxime a 1/4 de la suma de todos los pluviómetros del ensayo. La media ponderada del cuarto más perjudicado (pluviómetros que menos volumen recogen) se obtiene entonces dividiendo la suma de los volúmenes ponderados del 25 % de los pluviómetros que reciben los menores valores por la suma de las distancias desde el eje a su posición asociadas a estos pluviómetros.

$$UD_{1/4}(\%) = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i \left( V_i - \frac{\sum_{i=1}^n V_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right)}{\sum_{i=1}^n V_i S_i} \right] * 100 = \quad (8)$$

donde:

n: número de pluviómetros

$V_i$ : es el volumen (o, alternativamente, la masa o altura) de agua recogida en el colector i-ésimo;

$S_i$ : es la distancia a que se encuentra el colector considerado desde el centro del pivote;

El gráfico de la altura de agua aplicada a lo largo del lateral puede ayudar a identificar problemas en el funcionamiento de la máquina. Aquellos lugares donde -a lo largo del lateral- la altura de agua aplicada sea un 10 % mayor o menor que la altura de agua media deben ser analizados para determinar la causa de la variación.

Con esta metodología se obtendrá el valor de la uniformidad de distribución del cuarto más perjudicado ( $UD_{1/4}$ ), la altura media ponderada recogida ( $M_c$ ) y la eficiencia de descarga ( $Ed$ ).

$$Ed = \frac{\bar{D}}{AMD} * 100 \quad (9)$$

donde

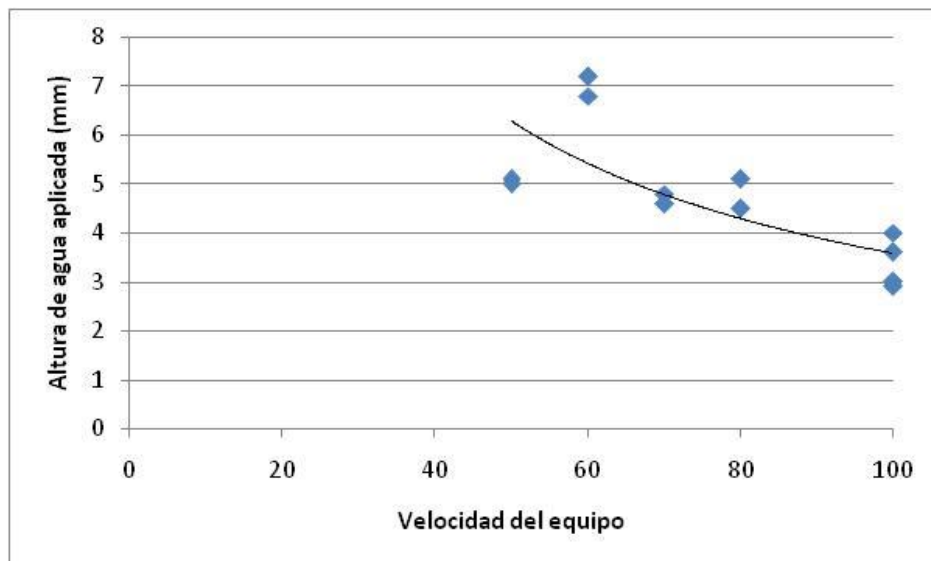
AMD: altura bruta media descargada por los emisores

El valor de  $CU_h$  se calcula para cada uno de los dos radios de pluviómetros (se acepta como mínimo un valor de  $CU_h$  del 80 % para considerar que un pivote riega adecuadamente). Se calcula también la media de  $CU_h$ .

## RESULTADOS

En el Oasis Centro, se evaluaron 6 pivotes, en las localidades de El Cepillo, Cápiz y Casas Viejas en el departamento de San Carlos (Mendoza) durante los meses de noviembre de 2014 a enero de 2015. Los cultivos fueron: maíz, papa, zanahoria y arvejas. Los pivotes fueron de 3 marcas comerciales diferentes. El tamaño de los equipos evaluados se ubica entre 3 y 8 tramos de longitud y con voladizo final, cubriendo una superficie de 12 a 78 hectáreas. La tabla 1 presenta un resumen de datos de cada propiedad acompañado por los valores correspondientes a cada parámetro analizado.

La presión de trabajo oscilo entre 0,5 y 2,7 bares. La evaporación del agua en los pluviómetros alcanzó valores medios de  $0,44 \text{ mm.h}^{-1}$  con valores extremos de  $0,22$  a  $0,63 \text{ mm.h}^{-1}$ . La altura de agua aplicada varió con la velocidad de avance del pivote con valores extremos de 2,9 a 7,2 mm. La figura 2 ilustra esa relación.



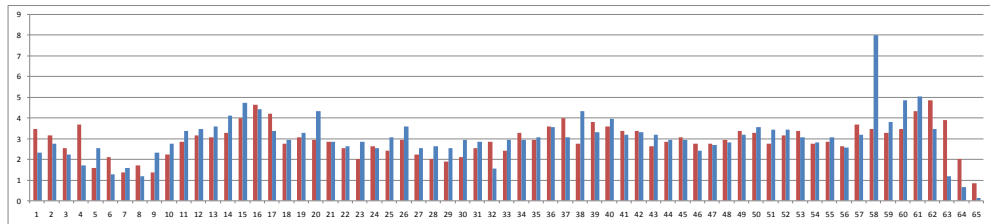
**Figura 2:** variación de la lámina aplicada en función de la velocidad de avance del equipo



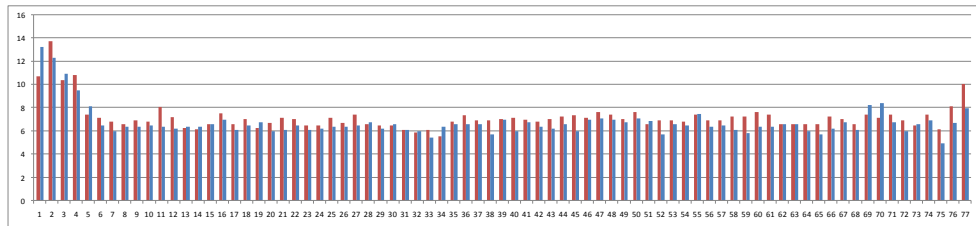
**Tabla 1: datos de cada propiedad evaluada y valores correspondientes a cada parámetro analizado**

Nº de evaluación	1	2	3	4	5	6	Total
<b>Cultivo</b>	Arveja maíz	Maíz	Maíz papa	Maíz Zanahoria	Papa Zanahoria	Papa	-
<b>Tramos</b>	3+alero	6+alero	8+alero	6+alero	8+alero	7+alero	-
<b>Superficie Regada (ha)</b>	12.3	44.1	77.9	44.9	77.9	52.5	<b>51.6</b>
<b>Presión trabajo (bar)</b>	0.5	1.4	2.7	1.6	1.4	2.25	<b>1.6</b>
<b>Velocidad del viento (m/s)</b>	3	3	3	1.8	0.8	1.2	<b>2.1</b>
<b>Salinidad del agua (dS/m)</b>	0.4	0.36	0.4	0.465	0.698	0.319	<b>0.46</b>
<b>Estado del cultivo</b>	regular	bueno	muy bueno	muy bueno	muy bueno	muy bueno	-
<b>Evaporación colectores (mm/h)</b>	0.22	0.54	0.63	0.45	0.45	0.35	<b>0.44</b>
<b>Velocidad del equipo (%)</b>	100	70	100	80	50	60	
<b>Altura media de agua Aplicada 1<sup>er</sup> radio (mm) Di</b>	2.9	4.8	3.6	4.5	5.1	7.2	<b>4.7</b>
<b>Altura media de agua Aplicada 2<sup>do</sup> radio (mm) Di</b>	3.0	4.6	4.0	5.1	5.0	6.8	
<b>Promedio de alturas de agua aplicada (mm)</b>	3.0	4.7	3.8	4.8	5.1	7.0	<b>4.7</b>
<b>Altura bruta media descargada AMD (mm)</b>	3.2	4.6	4.2	5.3	5.7	7.1	<b>5.0</b>
<b><math>\bar{D}</math> (mm)</b>	3.0	4.6	3.5	4.5	5.6	7.1	<b>4.8</b>
<b><math>\bar{D}</math> (mm)</b>	3.1	4.3	4.1	5.2	5.4	6.6	
<b>Mc (mm)</b>	3.1	4.5	3.8	4.9	5.5	6.9	<b>4.8</b>
<b>Lamina del ¼ perjudicado</b>	1.9	4.0	3.1	4.0	3.8	6.4	<b>3.8</b>
<b>Lamina del ¼ perjudicado</b>	1.6	3.3	3.4	4.4	4.0	5.8	
<b>CU<sub>H</sub></b>	81	90	90	94	84	93	<b>87</b>
<b>CU<sub>H</sub></b>	75	81	89	90	88	93	
<b>UD<sub>1/4</sub> (%)</b>	63	87	88	90	69	90	<b>79</b>
<b>UD<sub>1/4</sub> (%)</b>	51	78	82	85	74	89	
<b>Eficiencia Descarga Ed (%) 1</b>	95	98	84	84	97	100	<b>94</b>
<b>Eficiencia Descarga Ed (%) 2</b>	98	93	98	98	94	93	
<b>Promedio</b>	97	96	91	91	96	97	<b>94</b>
<b>Eficiencia del sistema (%)</b>	76	89	76	79	82	94	<b>82</b>
<b>Eficiencia del sistema (%)</b>	73	75	88	88	83	86	
<b>Promedio</b>	75	82	82	84	83	90	<b>82</b>

La altura bruta descargada (AMD) alcanzó valores medios de 5 mm. El coeficiente de uniformidad de Heermann y Hein ( $CU_H$ ) osciló entre 75 y 93 % con un valor promedio de 87 %. La uniformidad de distribución del cuarto más perjudicado mostró valores comprendido entre 51 y 90 % con un valor medio de 79 %. Las figuras 3 y 4 presentan la relación láminas/alturas de agua aplicadas en la evaluación 1 (con un  $CU_H$  regular) y la evaluación 6, con un buen desempeño.

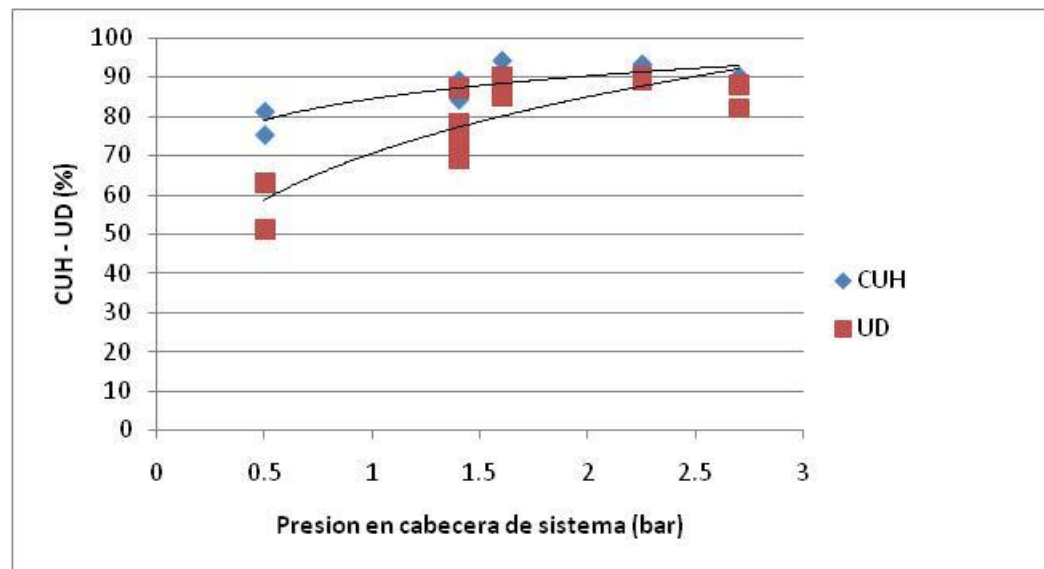


**Figura 3: altura de agua aplicada en dos hileras de colectores (evaluación 1 -  $CU_H$ : 78 %)**



**Figura 4: altura de agua aplicada en dos hileras de colectores (evaluación 6 -  $CU_H$ : 93%)**

La figura 5 muestra el impacto de la baja presión del equipo sobre la uniformidad  $CU_H$  y la  $UD_{1/4}$ . Se observa que estos indicadores mejoran cuando la presión de trabajo supera los dos (2) bares.



**Figura 5: variación del coeficiente de uniformidad  $CU_H$  en función de la presión de trabajo del equipo**

La eficiencia de descarga alcanzó valores comprendidos entre el 84 y el 100 %, con un valor

medio de 94 % y la eficiencia promedio del equipo fue del 82 %.

## CONCLUSIONES

Se concluye que la uniformidad lograda en 3 de los 6 sistemas analizados no resultó satisfactoria; habría que mejorar el mantenimiento de los equipos, el funcionamiento de los emisores (suelen trabarse), reducir o eliminar las pérdidas o fugas de agua en acoples de las cañerías y asegurar adecuada presión de trabajo en cabecera del sistema. De esta forma se estaría en condiciones de lograr el objetivo de mejorar la uniformidad, ahorrar agua, reducir el consumo energético y aumentar la productividad de los diferentes cultivos. También es importante indicarle al productor o propietario que la planilla de toberas que la empresa coloca al equipo responde a parámetros de presión, caudal y relieve que provee el mismo productor/propietario a la empresa para su diseño y que normalmente no están correctamente medidos (son valores aproximados), no son verificados por las empresas proyectistas impactando en la calidad del diseño del equipo.

Un sistema que opere con un coeficiente de uniformidad menor que el valor de diseño puede estar indicando emisores desgastados o rotos, o un mal funcionamiento general. No obstante, con una buena uniformidad como con otra no tan buena se pueden alcanzar altas producciones; la diferencia está en la cantidad de agua necesaria para ello, siendo claramente menor cuanto mayor sea la uniformidad. También serán menores las zonas del cultivo con déficit de humedad y percolación.

En algunas situaciones se observó escurrimiento superficial en el área perimetral de los pivotes. Cuando estos problemas de escorrentía no puedan solucionarse aumentando la velocidad de avance, se puede disminuir la pluviometría del extremo, aumentando el ancho mojado por el emisor, ya sea cambiando el tipo de emisor o localizando los existentes sobre unos pequeños tubos horizontales (tipo “booms”) dispuestos perpendicularmente al pivote. Para evitar el escurrimiento en terrenos con pendientes pronunciadas es conveniente sembrar los cultivos anuales en forma perpendicular al sentido de la pendiente.

Por último, resulta importante analizar la estrategia de riego a seguir: utilizar pequeñas láminas e intervalos de riego cortos o láminas e intervalos de riego mayores. En el primer caso, las pérdidas por evaporación y deriva podrían reducir la eficiencia de aplicación del sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.; Keller, J.; Martin, D. (2000).** Center Pivot System Design, 2000. The Irrigation Association VA, US.
- ANSI/ASAE S436.1. (2001).** Test procedure for determining the uniformity of water distribution of center pivot and lateral move irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzles. American Society of Agricultural Engineers. USA.
- Heermann, D.F.; R. Hein. (1968).** Performance characteristics of self-propelled center pivot sprinkler irrigation system”, Transactions of the ASAE 11(1): 11-15.
- Keller J. and Bliesner R. (1990).** Sprinkle and trickle irrigation. Chapman & Hall. An avi Book. 651 p.
- Morábito J. y Salatino S. (2014).** Evaluación de equipos de pivote central. INA-UNCuyo. Mendoza – Argentina, inédito.
- Morábito J., Salatino S. y G. Ibáñez. (2014).** Los equipos de pivote central ya riegan casi 4000 hectáreas en Mendoza. Revista campo Andino y Agroindustria. Año VI n° 25, julio-agosto, Mendoza, Argentina.
- Pereira L. S., J. A. J. Valero, M. Buendía y M. Tarjuelo. (2010).** El riego y sus tecnologías. CREA UCLM, Universidad de Castilla-La Mancha, 296 pp.
- Tarjuelo Martín Benito J. (2005).** El riego por aspersión y su tecnología. 3ª edición, Ediciones Mundo Prensa. Madrid.
- Valín, M., M. Cameira, P. Teodoro y L. Pereira. (2012).** DEPIVOT: A model for center-pivot design and evaluation. Computers and Electronics in Agriculture. Volume 87, September 2012, Pages 159–170.