

## EVALUACIÓN TÉCNICA DE UN SISTEMA DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL EN CULTIVO DE ALFALFA.

**Cruz Bautista Fidencio<sup>1</sup>**, Rodríguez Julio César<sup>1</sup>, Watts Christopher<sup>2</sup>, López Elías Jesús<sup>1</sup>, Huez López Marco Antonio<sup>1</sup>, Garatuza Payan Jaime<sup>3</sup>, Yopez Gonzales Enrico<sup>3</sup>.

Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora<sup>1</sup>, Departamento de Física, Universidad de Sonora<sup>2</sup>, Hermosillo, México. Departamento de Agua y el Medio Ambiente, ITSON<sup>3</sup>, Cd. Obregón, México.

E-Mail: [fidencio.cruz@guayacan.uson.mx](mailto:fidencio.cruz@guayacan.uson.mx).

### Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar desde el punto de vista técnico de un sistema de riego por pivote central Zimmatic modelo 8500P. El cual se encuentra instalado en un predio ubicado sobre la carretera Hermosillo-Moctezuma, en el ejido el Tronconal, ubicado al oriente de la Ciudad de Hermosillo, Son. Los coeficientes de uniformidad de distribución ( $UD_{25}$ ) de 89.57 %, uniformidad de Hermann y Hein ( $CU_h$ ) de 94.48%, y uniformidad de variación de Bremond y Molle ( $CU_v$ ) de 92.82%, así como los demás parámetros obtenidos en esta evaluación permiten señalar desde el punto de vista técnico, que el área está muy bien regada por el pivote central. También se comprobó que el sistema de riego pivote central evaluado tiene un funcionamiento acorde con las especificaciones de diseño establecidas por el fabricante, condiciones de suelo y cultivo.

**Palabras clave:** riego, calidad, coeficientes, alfalfa.

### Abstract

The objective of this study was to evaluate from the technical criterion a Zimmatic 8500P center pivot irrigation system. This irrigation system was installed at a field plot located on the Hermosillo Moctezuma highway, in the Tronconal village, located near the city of Hermosillo in Sonora. The coefficients of uniformity of distribution ( $UD_{25}$  %) with 89.57 %, uniformity by Hermann and Hein ( $CU_h$ ) with 94.48 %, and the uniformity of variation by Bremond and Molle ( $CU_v$ ) with 92.82 %, like as the rest of the parameters obtained in this evaluation allow point out from the technical criterion, that the area is very well irrigated by the center pivot system. Also it was verified than the irrigation system by the central pivot has operated in agreement with the designing specifications by the manufacturer, field and crop conditions.

**Key words:** Irrigation, quality, coefficients, alfalfa.

### Introducción

El nivel tecnológico utilizado en la aplicación de agua a los cultivos depende directamente de los recursos disponibles y de los beneficios que son posibles de obtener al optimizar estos recursos. En México durante los últimos cinco años se han tecnificado 547 mil hectáreas de riego, mediante sistemas que hacen más eficiente el aprovechamiento del agua en el sector agrícola (SAGARPA 2012). Dentro de los equipos utilizados en el riego tecnificado, está el pivote central, que corresponde a uno de los equipos de mayor nivel tecnológico en la aplicación del agua mediante aspersión a los cultivos. Las grandes ventajas del pivote central como sistema de riego, han despertado interés entre los productores agrícolas, no solo por el menor costo de inversión por hectárea regada (a mayor longitud del equipo), sino también por otras características tales como su versatilidad para ser utilizado en diferentes condiciones de suelo, clima y cultivo, alto grado de automatización, posibilidad de aplicar laminas diferenciadas de agua acordes a las reales necesidades del cultivo, inyección de agroquímicos y la uniformidad en la aplicación de agua (Allen, Keller y Martín, 2000; Rodríguez y Troncoso, 2005; González, 2006; Jiménez et al, 2010).

Respecto a la uniformidad de aplicación del riego, Cárdenas (2000) plantea que es un parámetro que está muy relacionado con la eficiencia del riego y con la producción de los cultivos. Por tanto, la evaluación técnica de un pivote central considera entre otros parámetros, la determinación de los coeficientes que reflejan la calidad del riego y que se asocian a la uniformidad del cultivo en el proceso de aplicación de agua (Tarjuelo, 1999, 2005; Rodríguez y Troncoso, 2005). Por lo antes señalado, el objetivo de este trabajo fue hacer una evaluación técnica del desempeño de un equipo de riego por pivote central sobre un cultivo de alfalfa.

### **Materiales y Métodos**

Este estudio se realizó en Agosto de 2012 en un predio ubicado sobre la carretera Hermosillo-Moctezuma, en el ejido el Tronconal, ubicado al oriente de la Ciudad de Hermosillo, Son. El equipo de riego instalado en este predio es un pivote central Zimmatic modelo 8500P, fabricado en EUA. Este modelo presenta un largo total de 360 m, estructurado con tubería de acero galvanizado de 141.3 mm de diámetro; integrado por ocho tramos de 43 m, y un voladizo de 16 m. Bajo la estructura y a cada 2.24 m están instalados 21 emisores Nelson modelo Uni-Flow, con diámetro de mojado de 11–12 m, localizados a una altura de 1.2 m desde el nivel del suelo.

La evaluación técnica de este equipo de riego se hizo basado en las normas internacionales ANSI/ASAE STANDARDS S436 (1995 e ISO - 11545 - 1994), citadas por Tarjuelo (1999). Los pluviómetros utilizados en esta evaluación, se colocaron radialmente a cada cinco metros a lo largo del equipo, teniendo como origen el punto pivote, a partir de la segunda torre como lo indican las normas. Los pluviómetros se instalaron sobre estacas de madera de 0.7 m de alto, con lo cual la distancia entre pluviómetro y emisor fue de 0.6 m. Durante la evaluación se registró la presión de operación con manómetros instalados a la salida de las bajantes al inicio del punto pivote, en la mitad de la unidad y al final de ésta. La velocidad de desplazamiento del equipo se verificó en la última torre, a partir del tiempo que demoró el equipo en desplazarse entre dos puntos de control, previamente establecidos. Se determinó la eficiencia de descarga ( $Ed$ ) del equipo durante la evaluación, a través de la siguiente relación:

$$Ed(\%) = \frac{Lmc}{Lmd} * 100 \quad (1)$$

donde:  $Lmc$  = lámina media de agua captada por los pluviómetros, en mm;  $Lmd$  = lámina media de agua descargada por el equipo, en mm.

A partir del agua colectada en la línea de pluviómetros, se determinó la lámina media de agua captada en cada tramo del pivote ( $Lmrt$ ) y la media del equipo ( $Lmr$ ), uniformidad de distribución ( $UD$ ), coeficiente de uniformidad de Hermann y Hein ( $CU_h$ ), coeficiente de uniformidad de variación ( $CU_v$ ), altura media ponderada captada ( $Mc$ ), pluviometría media ( $P_M$ ) y máxima ( $P_m$ ) en el extremo del equipo. Para el caso de la  $UD$ , el cálculo se realizó con la siguiente relación:

$$UD = \frac{Lmr\ 25\%}{Lmr} * 100 \quad (2)$$

donde:  $Lmr\ 25\%$  = lámina media de agua captada por los pluviómetros, correspondiente a la media del 25% de los menores valores recogidos (mm);  $Lmr$  = lámina media de agua captada por los pluviómetros, para el pivote (mm).

El cálculo del  $CU_h$ , se efectuó con la siguiente relación:

$$CU_h(\%) = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n C_i - Mc}{\sum_{i=1}^n C_i D_i} \right] * 100 \quad (3)$$

donde:  $n$  = numero de pluviómetros;  $C_i$  = cantidad de agua captada por el pluviómetro (con  $i$  variando entre 1 y  $n$ );  $D_i$  = distancia del centro del pivote al pluviómetro  $i$ ;  $M_c$  = media pondera de las cantidades captadas por los  $n$  pluviómetros, donde:

$$M_c = \frac{\sum_{i=1}^n C_i D_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \quad (4)$$

El  $CU_v$  se determinó con la siguiente expresión, según Bremond y Molle (1995).

$$CU_v(\%) = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{\sum C_i D_i}{\sum D_i}} * \sqrt{\frac{\sum \left( C_i - \frac{\sum C_i D_i}{\sum D_i} \right)^2 D_i}{\sum D_i}} \right] * 100 \quad (5)$$

Finalmente, la  $P_M$  y  $P_m$  en el extremo del equipo se determinó con las siguientes relaciones:

$$P_M (mm h^{-1}) = \frac{Lmr * V}{2 * r_a} \quad (6)$$

donde:  $Lmr$  = (mm);  $V$  = velocidad de avance de la última torre ( $m h^{-1}$ );  $r_a$  = radio de mojado del emisor en el extremo del equipo (m).

$$P_m (mm h^{-1}) = \frac{4}{\pi} P_M \quad (7)$$

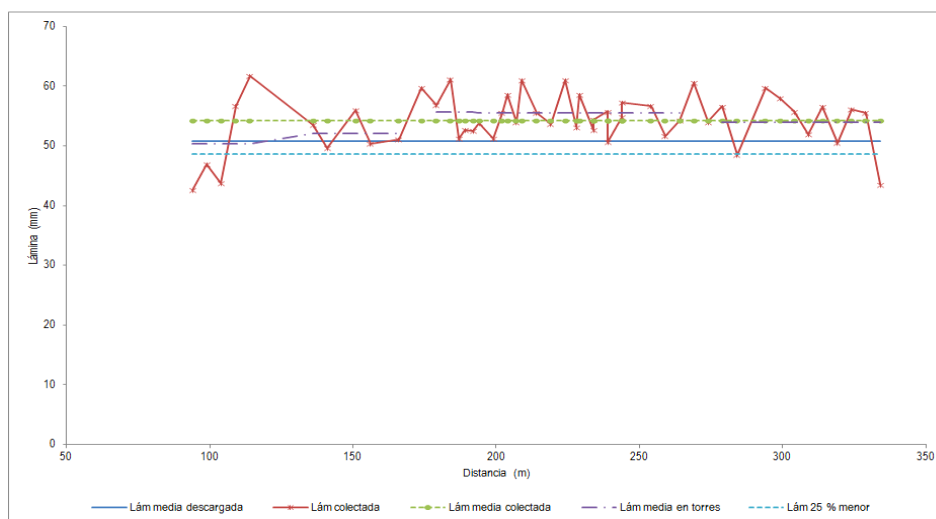
### Resultados y Discusión

Se constató que el pivote evaluado tiene un funcionamiento acorde con las especificaciones de diseño establecidas por el fabricante.

**Cuadro 1.** Resultados obtenidos respecto a la evaluación técnica del sistema de riego por pivote central.

Parámetros	M	U ión	Evaluac
Presión de trabajo		K g cm <sup>-2</sup>	1.757
Lámina media de agua descargada por los emisores	m	m	50.8
Lámina media de agua colectada con los pluviómetros	m	m	54.24
Lámina de agua del 25% de los colectores con menor pluviometría	m	m	48.58

Lámina media ponderada de agua colectada con los pluviómetros	m	54.61
Eficiencia de descarga	%	106.76
Uniformidad de Distribución (UD 25%)	%	89.57
Coefficiente de Uniformidad de Hermann y Hein ( $CU_h$ )	%	94.48
Coefficiente de Uniformidad de Variación ( $CU_v$ )	%	92.82
Pluviometría media en el extremo del equipo	$m\ h^{-1}$	103.05
Pluviometría máxima en el extremo del equipo	$m\ h^{-1}$	131.21



**Figura 1.** Lámina de agua en función de la distancia.

La eficiencia de descarga del equipo que se determinó durante la evaluación es de 106.76%. Este parámetro indica la relación entre la lámina media de agua recogida por los pluviómetros y la lámina media descargada por los emisores. En este caso, el porcentaje obtenido es mayor al cien por ciento, debido a que la lámina de agua media descargada ( $Lmd$ )  $\theta\upsilon\epsilon\ \delta\epsilon\ \alpha\chi\upsilon\epsilon\rho\delta\omicron$  la carta de aplicación del equipo que al por centímetro en 12 %, corresponde a una  $Lmd$  de 50.8 mm, es menor que la lámina media de agua recogida por los pluviómetros ( $Lmc$ ). Esto se puede deber a que la velocidad de avance de  $0.38\ m\ min^{-1}$ , del equipo durante la evaluación, es menor que la que se indica en la carta de aplicación del equipo. El otro factor que se le puede atribuir a este resultado es que los aspersores están operando a una presión mayor que la indicada en la carta de aplicación del equipo. La uniformidad de distribución (UD 25%) fue de 89.57 % que corresponde también a un valor adecuado, pues De Santo Olalla y De Juan Valero (1993), señalan que este coeficiente para equipos pivote debiera estar entre 70 y 80%. El coeficiente de uniformidad de Hermann y Hein ( $CU_h$ ) obtenido fue de 94.48%, cifra que de acuerdo a literatura, el área está muy bien regada. Pues se considera que valores de  $CU_h$  inferiores a 80% el equipo no riega adecuadamente, entre 85 y 90%, la superficie está bien regada, y con valores superiores a 90% el área está muy bien regada (Tarjuelo, 1999, 2005; Ποδρ<sup>1</sup>γυεζ ψ Troncoso, 2005). En cuanto al coeficiente de uniformidad de variación ( $CU_v$ ), también la evaluación arroja un valor alto con 92.82%. 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  $CU_h$ . Una representación gráfica de lo que ocurre a lo largo de la unidad respecto a las láminas de agua

recogidas por los pluviómetros, lámina media de agua captada en cada tramo del pivote ( $Lmrt$ ), la media del equipo ( $Lmr$ ), lámina de agua media descargada ( $Lmd$ ) y lámina media de agua captada por los pluviómetros, correspondiente a la media del 25% de los menores valores ( $Lmr\ 25\%$ ), se presenta en la *Figura 1*, En esta se observa que los tramos 2, 3 y 4 reciben menos agua que la media, mientras que los tramos 5, 6 y 7 reciben más que la media. En el tramo 8 y voladizo es donde se aprecian las menores diferencias con respecto a la media.

### **Conclusiones**

Los coeficientes de uniformidad de distribución ( $UD\ 25\%$ ), coeficiente de uniformidad de Hermann y Hein ( $CU_h$ ) y coeficiente de uniformidad de variación ( $CU_v$ ), así como los demás parámetros obtenidos en esta evaluación permiten señalar desde el punto de vista técnico y de acuerdo a literatura, que el área está muy bien regada. También se constató que el sistema de riego por pivote central evaluado tiene un funcionamiento acorde con las especificaciones de diseño establecidas por el fabricante.

### **Agradecimientos**

Los autores desean agradecer al CONACYT dentro del programa Apoyos Complementarios para la Consolidación Institucional de Grupos de Investigación (Repatriación, Retención y Estancias de Consolidación) Convocatoria 2011 - Segundo Periodo y a la Universidad de Sonora por los apoyos realizados para la realización de este trabajo.

### **Bibliografía**

- Allen, R., j. Keller, D. Martin. 2000. Center Pivot System Design. The Irrigation Association, USA. 300 p.
- Bremond, B., B. Molle. 1995. "Characterization of rainfall under center pivot: influence of measuring procedure", J. Irrig. Drain. Eng., 121(5): 347-353.
- Cárdenas, J. F. 2000. Estudio del uso de la boquilla difusora cubana en las máquinas de riego de pivote central, Tesis. La Habana, Cuba.
- De Santa Olalla, F., J. De Juan Valero. 1993. Agronomía del Riego Ediciones Mundi - Prensa, Madrid. España. 733 p.
- González, P. 2006. 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.
- Jiménez, E. E.R., G. Domínguez, R. Pérez, S. Montero, R. Cun. 2010. Estudio de la uniformidad de riego, en una máquina de pivote central. Revista Ciencias Técnicas Agropecuaria 19 (1).
- Rodríguez, H., J. Troncoso. 2005. Evaluación técnica y económica de un sistema de riego por pivote central. Agro Sur 33 (2) 62-73.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2012. <http://www.sagarpa.gob.mx>
- Tarjuelo, J. 1999. El riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundi - Prensa. Madrid. 670p.
- Tarjuelo, J. 2005. El riego por aspersión y su tecnología, 569pp., Ed. Mundi-Prensa. Tercera edición, Madrid, España.