

UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Trabajo de Diploma

Evaluación de la calidad de riego con máquina de pivote central eléctrica en la UBPC-3 "Jesús Menéndez"

Autor: Raidel Chávez Pérez.

Tutor: Ing. Daniel Martínez Álvarez.

Santa Clara

Curso 2013-2014

PENSAMIENTO

En la Tierra hacen falta personas que trabajen más y critiquen menos, que construyan más y destruyan menos, que prometan menos y que resuelvan más, que esperen necesitar menos y dar más, que digan mejor ahora que mañana.

Ernesto Che Guevara.

DEDICATORIA

 A mi mamá y papá que me guiaron por el camino correcto, me apoyan en los momentos difíciles, y me ayudan siempre a convertir todos mis sueños en realidad.

 A mi hermano por creer en mí y apoyarme incondicionalmente en todos los momentos difíciles por los cuales he pasado en la vida y en la carrera.

 A mis amigos, a mi familia y a todo el colectivo de profesores de la carrera

 A mi tutor por ayudarme en la realización de este trabajo y hacer posible su exposición en este momento.

AGRADECIMIENTOS

 A la Revolución por permitirme una Educación sana e íntegra.

 A mis padres de quien siempre he recibido el apoyo moral y espiritual.

 Especial agradecimiento a mi Tutor Ing. Daniel Martínez Álvarez.

 A los profesores que contribuyeron en nuestra formación integral.

 A los compañeros de la UBPC -3 Jesús Menéndez perteneciente a la Empresa Agropecuaria "Valle del Yabú" que permitieron la realización de este trabajo.

 A mis compañeros de año.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC-3) "Jesús Menéndez" perteneciente a la Empresa Agropecuaria "Valle del Yabú", ubicada en el municipio Santa Clara, provincia de Villa Clara. El trabajo se llevó a cabo en el periodo comprendido de enero-abril del 2014. Tiene como objetivo realizar la evaluación de la calidad de riego de la máquina de pivote central eléctrica Western. Se empleó una evaluación pluviométrica a partir de la metodología descrita en la norma cubana NC 115:45 (2005) y los datos fueron procesados en el software Pluviopivot para determinar el coeficiente de uniformidad. La eficiencia total del sistema de riego se determinó a partir de los datos obtenidos de la eficiencia de aplicación (Efa) y la eficiencia de conducción (Efc). Los principales resultados obtenidos fueron que la máquina aplicó la lámina de agua requerida por el regador con un coeficiente de uniformidad ponderado de 78%. Se alcanzó una eficiencia total del sistema de un 43.79%, siendo este valor significativamente inferior al rango de 65-80%, en el que debe oscilar este parámetro en un sistema de riego de pivote central. El análisis de ambos parámetros, permitieron clasificar a dicho sistema de riego como ineficiente.

ABSTRACT:

The present work was carried out in the Basic Unit of Cooperative Production (UBPC -3) "Jesús Menéndez" belonging to the Company Agricultural "Valley of Yabú", located in the municipality Santa Clara, county of Villa Clara. The work was carried out in the understood period of January-April of the one 2014. It has as objective to carry out the evaluation of the quality of irrigation of the machine of central electric pivot Western. An evaluation pluviometric was used starting from the methodology described in the Cuban standard (NC 2005) and the data were processed in the software Pluviopivot to determine the coefficient of uniformity. The total efficiency of the watering system was determined starting from the obtained data of the application efficiency (Efa) and the conduction efficiency (Efc). The main results obtained were that the machine applied the sheet of water required by the irrigator with a pondered coefficient of uniformity of 78%. A total efficiency of the system was reached 43.79%, being this significantly inferior value to the range of 65-80%, in which this parameter should oscillate in a system of watering of central pivot. The analysis of both parameters, they allowed to classify to this watering system as inefficient.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	1
I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
1.1 Riego por aspersion	5
1.2 Sistemas de riego pivote central	7
1.3 Parámetros de eficiencia en riego	9
1.3.1 Pérdidas en el riego	11
1.4 Evaluación de los sistemas de riego	12
1.4.1 Evaluación de pivotes centrales	14
II. MATERIALES Y MÉTODOS	16
2.1 Evaluación pluviométrica	17
2.2 Eficiencia del sistema de riego	19
2.2.1 Eficiencia de aplicación	19
2.2.2 Eficiencia de conducción	21
III. RESULTADO Y DISCUSIÓN	22
3.1 Evaluación pluviométrica	22
3.2 Eficiencia del sistema de riego	26
3.2.1 Eficiencia de aplicación	27
3.2.2 Eficiencia de conducción	28
3.3 Análisis Económico	28
CONCLUSIONES	30
RECOMENDACIONES	31
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

A mediados del Siglo XX, el agricultor norteamericano Frank Zybach inventó un equipo de riego por aspersión autopropulsado para poder dormir mientras la máquina regaba. En 1952 obtuvo la patente de su invento, conocido como pivote central, que en la actualidad riega millones de hectáreas en todo el mundo (Requena y Martínez, 2010).

El sistema de riego pivote central recibe su nombre por su movimiento circular alrededor de un punto central, sobre el que pivota. Es uno de los sistemas más eficientes para regar y para inyectar fertilizantes líquidos. Su capacidad para regar tanto en terrenos ondulados como llanos, convierten al pivote central en el sistema más significativo en la agricultura desde la invención del tractor (Traxco, 2012).

Este sistema ha hecho fácil y muy eficaz el riego en muchas áreas donde otros métodos de irrigación no son adecuados. Se pueden aplicar riegos más frecuentes 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. Dentro de sus avances más significativos se encuentra la instalación de los aspersores en bajantes, con el objetivo de lograr una mayor eficiencia en el riego. Los aspersores en bajantes deben su éxito a que distribuyen el agua sobre una gran área, aún cuando están montados debajo de los tirantes del pivote. Estos dispositivos giratorios funcionan a baja presión y presentan una doble ventaja: un mayor tiempo de saturación y una baja pluviometría. También presentan, patrón de distribución más completo y puede duplicar el tiempo de saturación de los aspersores fijos (Traxco, 2012).

En general, las máquinas de pivote central eléctricas 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).

Existen actualmente en el mundo más de 10 millones de hectáreas regadas con la tecnología pivote central. En Cuba se introducen los primeros pivotes "Fregar" (de tracción hidráulica) en 1977, procedentes de la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) y muy pronto fue una técnica aceptada por los productores y generalizada en todo el país. Ya en la década de 1990 se introdujeron en el país otros modelos de máquinas dotadas de motores eléctricos las cuales resultaban más eficientes (Pérez *et al.*, 2010).

La velocidad de estas máquinas supera aproximadamente tres veces a las de accionamiento hidráulico, además de ser más ligeras, ocasionar menos pérdidas de agua y presentar menor frecuencia de roturas. Por estas y otras razones en la década de los 90 se comenzó a llevar a cabo un proyecto de sustitución de estas máquinas de accionamiento hidráulicos, por las nuevas máquinas dotadas de motores eléctricos, a este proyecto se le llamó Electrificación, y el desarrollo del mismo en los últimos años ha contribuido notablemente al incremento de la eficiencia de operación de estos sistemas de riego (Pérez *et al.*, 2010).

Por tanto, se han realizado inversiones importantes en temas de modernización de los sistemas de riego con la introducción de nuevas tecnologías (Pérez *et al.*, 2010). 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 (Domínguez, 2012). Pero como el sector agrícola está entre los de mayor consumo de agua en el mundo, es necesario que la agricultura irrigada sea eficiente para tener sostenibilidad ambiental y económica.

De ahí el interés por la evaluación de la calidad de riego de estas nuevas máquinas de pivotes central eléctrica adquiridas por Cuba. Dicha evaluación tiene como centro validar, en condiciones de trabajo, el funcionamiento de los principales parámetros implicados en la aplicación de agua, así como la definición de los factores que más afectan la uniformidad del riego. Además se valora la repercusión económica y el uso eficiente del agua en la actividad de riego (Domínguez, 2012).

Un parámetro principal para evaluar los sistemas de riego es la uniformidad de aplicación de agua en la superficie del área irrigada. Dicho parámetro se refleja directamente en el manejo y desempeño del cultivo, en la calidad y cantidad de productos, en la eficiencia del uso del agua y en el costo de producción del riego según Bernardo y Soares, (2009) y Flórez *et al.*, (2013).

El primer coeficiente de uniformidad (CU), fue propuesto por Christiansen (1942), que adoptó la desviación media como medida de dispersión (CUC). Mientras que el coeficiente de uniformidad de distribución (CUD) propuesto por Criddle *et al.*, (1956), considera la razón entre la media del 25 % de los menores valores de las láminas de irrigación y la lámina media recolectada. Bajos valores de CUC y CUD pueden deberse a diseños incorrectos de los sistemas de riego, que limitan su desempeño y funcionamiento óptimo según Buendía *et al.*, (2004) y Flórez *et al.*, (2013).

Luego Heermann y Hein (1968), modifican el coeficiente de uniformidad propuesto por Christiansen (1942), para adaptarlo a las condiciones de evaluación de los sistemas de pivote central. Para ello consideraron que cada pluviómetro representa una corona circular de área creciente a medida que se aleja del centro pivote (Tajuelo, 2005).

Por consiguiente, la calidad del riego se evalúa con base a indicadores de desempeño como eficiencia y uniformidad, mediante índices de productividad de agua que relacionan el rendimiento de los cultivos y el valor económico de la producción por unidad de lámina de agua aplicada o consumida, según Lorite *et al.*, (2004), Bos *et al.*, (2005) y Flórez *et al.*, (2013). De esta forma, durante la operación del sistema de riego, los valores de uniformidad de aplicación y de distribución deben ser altos y las pérdidas bajas, para obtener altos valores de eficiencia (Flórez *et al.*, 2013).

Por lo tanto, el propósito que se persigue, es evaluar la calidad de riego del sistema, pudiéndose prescindir de los aspectos de manejo que tratan de conseguir la adecuación del riego, en cuanto al momento y volumen a aportar (Tajuelo, 2005).

Objeto de estudio o investigación:

- Calidad de riego en máquinas de pivote central eléctricas. Y tiene como

Problema científico:

- ¿Cuál es la calidad del riego de la máquina de pivote central eléctrica de la UBPC-3 "Jesús Menéndez" perteneciente a la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú?

Hipótesis: La calidad del riego de la máquina de pivote central eléctrica de la UBPC -3 "Jesús Menéndez" perteneciente a la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú es ineficiente.

Objetivo general de investigación:

- Evaluar la calidad del riego con máquina de pivote central eléctrica en la UBPC-3 "Jesús Menéndez".

Objetivos específicos:

- Evaluar la pluviometría y uniformidad de riego de la máquina de pivote central.
- Determinar la eficiencia total del sistema.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Riego por aspersión

El sistema de riego por aspersión aplica el agua en forma de una lluvia más o menos intensa y uniforme sobre la parcela con el objetivo de que se infiltre en el mismo punto donde cae. Para ello es necesaria una red de distribución, que permita que el agua de riego llegue con presión suficiente a los elementos encargados de aplicar el agua (aspersores o difusores) (Alonso, 2012).

La característica fundamental que se debe cumplir en todos los sistemas de aspersión, es que la pluviometría debe ser menor que la velocidad de infiltración del agua en el suelo. Esto es muy importante en zonas con pendientes elevadas ya que la escorrentía puede generar fuerte erosión del suelo.

El agua aplicada por el riego por aspersión debe infiltrarse donde ha caído, para evitar los problemas de encharcamiento, escorrentía y erosión del suelo. En el riego por aspersión las características del suelo no intervienen en la distribución del agua (Faci, 2013).

Como principales ventajas del riego por aspersión, se sintetizan que se pueden regar en terrenos ondulados, ya que existe un perfecto control sobre la dosis aplicada y que se puede aumentar la frecuencia de riego con gran facilidad. Además de que se adapta bien al tamaño y forma de las fincas y a las primeras fases del desarrollo de los cultivos. De igual manera, se puede automatizar, permite el riego de suelos arenosos, facilita la mecanización de los cultivos y posibilita la incorporación de los fertilizantes con el riego.

Dentro de sus limitaciones se encuentran, el hecho de que el viento afecta a la uniformidad de distribución del agua de riego y que no se pueden usar aguas salinas, porque producen quemaduras y descensos a los cultivos, incidiendo en el rendimiento. Igualmente, se producen importantes pérdidas por evaporación y arrastre y existe un mayor costo energético de funcionamiento. Por lo que se le une que en algunos cultivos hay riesgo de enfermedades (Faci, 2013).

“Jesús Menéndez”

1.2 Sistemas de riego pivote central

El sistema de riego pivote central está formado por una tubería porta emisores, que va sustentada sobre torres automotrices, con un motor eléctrico sobre dos ruedas neumáticas o de un motor hidráulico con dos ruedas de hierro. La tubería por donde se conduce el agua para ser distribuida en el suelo, normalmente es de acero galvanizado. Cada tramo de tubería va unido a una torre soporte y articulado con el tramo anterior, debiendo permitir movimiento en un eje vertical y otro horizontal (Tajuelo, 2005).

Las ruedas de las torres tienen con frecuencia motores eléctricos (0,75 a 1,5 HP) individuales y mecanismos de control, que permiten el movimiento y alineación de la tubería. En los de accionamiento hidráulico, el movimiento es continuo en todas las torres y el control de alineación y velocidad se realiza mediante distintas válvulas hidráulica (Requena y Martínez, 2010).

Los emisores

Son los encargados de distribuir uniformemente el agua a medida que el pivote central gira. Existe una variada gama de emisores de riego para aplicar el agua con los pivotes centrales (Enríquez y Grevenson, 2000). En los últimos 10 años se ha generalizado en el mundo la utilización de las boquillas de baja presión que trabajan entre 10 y 18 metro de columna de agua (mca), lo cual significa un ahorro considerable de energía, si lo comparamos con la presión de operación de los aspersores de impacto que anteriormente se utilizaban en estas máquinas, que oscilaban entre 30 y 60 mca. El mercado hoy dispone de diferentes emisores para variadas condiciones de suelo, cultivos y climas; los principales modelos que hoy se utilizan son: Spray, Rotador, Spines, Webber, LDN y LEPA (Ver figura 1.1).

“Jesús Menéndez”



Figura 1.1 Diferentes emisoros utilizados en pivote central.

El modelo Spray o rociador, es un emisor fijo de baja presión, donde el agua al salir por la boquilla choca contra un plato estático que está rasurado, formando chorros de agua a una presión que oscila entre 4 y 18 mca. Existen varios tipos de platos que pueden proporcionar diferentes chorros de salida del agua, (chorros finos, medianos y fuertes) (Enríquez y Grevenson, 2000).

Debido a que la entrega del agua es fija, la aplicación instantánea es alta y se recomiendan en suelos de poca pendiente y alta velocidad de infiltración. El Spray es el que utiliza Cuba en las máquinas Fregar y en algunos modelos eléctricos, y tiene la ventaja que puede ser fabricado en nuestro país.

El comportamiento de este emisor en las condiciones cubanas ha sido bueno; más del 90% de las máquinas que regaron en las últimas campañas lo hicieron con este dispositivo. Este tipo de emisor es el más difundido en el mundo, pues resulta más barato entre los de última tecnología (Enríquez y Grevenson, 2000).

“Jesús Menéndez”

1.3. Parámetros de eficiencia en riego

Según Tajuelo (2005) y Pacheco *et al.* (1995), solo una parte del agua que entra al sistema es aprovechada por las plantas y la otra parte se pierde. Esto puede provocar pérdidas de diferentes clases, que pueden ser por filtración, percolación, evaporación y por averías o mala explotación en las obras hidráulicas. La relación entre el volumen de agua que queda almacenado en la zona del sistema radicular de las plantas y el volumen de agua que se extrajo de la fuente, se llama eficiencia del sistema de riego (Eft.). En el cual interviene la eficiencia de conducción (Efc.), que va a ser la relación entre el volumen de agua que se da a las parcelas regadas y el agua que entra al sistema en su inicio (Pacheco *et al.*, 1995).

Según Peiteado (2005), dentro de los parámetros de eficiencia del sistema de riego está la eficiencia de aplicación (Efa). Esta no es más que la relación entre la cantidad de agua que sale del punto de suministro y la que realmente aprovechan las plantas. Se expresa mediante un porcentaje, por ejemplo, una eficiencia del 75% indica que del total del agua bombeada por un pozo, solo el 75% la tomarán las plantas y el 25% restante tendrá destinos diferentes, por lo que cuantifica, cuánto del agua aplicada es realmente utilizada. Este parámetro es subdividido en eficiencia de aplicación (Efa), eficiencia de almacenamiento (Es), pérdida por percolación debajo de la zona radicular (Pp.) y déficit de agua en el suelo (D).

La Efa indica la cantidad de agua incorporada al suelo hasta la profundidad de estudio en relación con la cantidad total de agua aplicada por el sistema de riego. Así la diferencia entre estas, indica el volumen de agua perdido por percolación, escurrimiento o por evaporación. La Es muestra la relación entre el volumen de agua almacenado y el requerido para una determinada profundidad del suelo y la diferencia de estos volúmenes, es un indicador de déficit según Zocoler *et al.*, (2004). En la tabla 1.1. se muestra el porcentaje de pérdidas y el porcentaje de eficiencia de riego según el tipo de suelo.

“Jesús Menéndez”

Tabla 1.1. Eficiencia de aplicación según el tipo de suelo.

Pérdidas	Tipo de suelo		
	Liviano	Medio	Pesado
Acequias de las granjas	15	10	5
Escurrecimiento superficial	5	10	25
Percolación profunda	35	15	10
Total	55	35	40
Eficiencia de riego	45	65	60

Fuente: (García, 2009).

Además en la eficiencia también influye el sistema de riego, el diseño de la instalación, su mantenimiento y su manejo. Por término general la eficiencia teórica del riego por goteo es de 85-95%, la del pivote va del 80 al 90%, en aspersión oscila entre 65-85%, mientras que el riego a pie presenta eficiencias de entre el 30 al 70%.

En la tabla 1.2. se muestra el porcentaje de la eficiencia de aplicación según el método de riego.

Tabla 1.2 Eficiencia de aplicación según el método de riego.

Método de Riego	Eficiencia %
Surcos rectos	55-70
Surcos en contornos	55-55
Corrugación	50-70
Aspersión, clima seco y cálido	60
Aspersión, clima moderado	70
Aspersión, clima frío y húmedo	80

Fuente: (García, 2009).

“Jesús Menéndez”

La Tabla 1.3 muestra el por ciento de la eficiencia de aplicación, según la técnica de riego para el caso de Cuba.

Tabla 1.3. Eficiencia de aplicación en Cuba.

Técnica de riego	Eficiencia de aplicación %
Aspersión baja presión	0.75-0.80
Aspersión media presión	0.70-0.75
Aspersión alta presión	0.60-0.65
Máquina pivote central con emisores arriba	0.70-0.75
Máquina pivote central con bajantes y boquillas	0.80-0.85
Máquinas DDA-100 MA	0.40-0.45
Máquinas Volzhanka	0.70-0.75
Máquinas de avance frontal	0.70-0.75
Riego localizado	0.85-0.90

Fuente:(García, 2009).

1.3.1 Pérdidas en el riego.

En el proceso de riego, las pérdidas ocurren en diferentes momentos, pudiendo clasificarse en los siguientes grupos (Peiteado, 2005):

Pérdidas de aplicación: Engloba a todas las que tienen su origen en la instalación dentro de la parcela de riego. Cabe mencionar, tanto las fugas del agua en tuberías, como la evaporación, que bajo condiciones de viento y altas temperaturas, tiene lugar en el chorro de los emisores y en las hojas mojadas.

Pérdidas en el suelo: Una vez en el suelo, el agua puede escurrirse cuando la pluviometría del sistema supera la capacidad de infiltración del suelo o al encontrarse saturado, e incluso escapar de la profundidad de acción de las raíces, con la percolación a capas profundas. Al igual que ocurre con la uniformidad, la Efa, es una característica propia de cada instalación.

“Jesús Menéndez”

Pérdidas de transporte: Son las que ocurren en las conducciones, desde el punto de suministro hasta la parcela. Aquí se incluyen desde las fugas en tuberías y canales, hasta la evaporación en el caso de las conducciones abiertas.

1.4. Evaluación de los sistemas de riego.

Las técnicas de evaluación en los sistemas de riego, permiten conocer los parámetros implicados en la aplicación de agua en base a ensayos de campo, realizados bajo las condiciones normales de trabajos y determinar los cambios precisos para mejorar el proceso de riego, según Tajuelo, (2005). La evaluación realizada a un conjunto de sistemas de riego, puede servir además para establecer los criterios de elección del sistema de riego más adecuado, a las condiciones de cada zona regable.

Los términos de uniformidad y eficiencia que intervienen en la evaluación, no tienen una terminología ni una concepción única en estos momentos. Para evitar las posibles confusiones con otras terminologías, se adopta la empleada por Merriam y Keller, (1978) y Merriam *et al.*, (1980), por ser unas de las utilizadas y aceptada de forma generalizada por Facy y Castel, (1982).

Los principales parámetros empleados en todos los procedimientos de evaluación en el campo se definen a continuación según: Tajuelo, (2005).

1- Déficit de humedad en el suelo (DHS): indica la sequedad del suelo en la zona radicular en el momento de realizar la medida. Puede expresarse en mm de altura de lámina de agua y coincide con la cantidad de agua, que debe ser aplicada con el riego en condiciones normales de manejo (sin fracción del lavado para sales).

2- Déficit permisible de manejo (DPM). Corresponde a la altura de agua que puede ser extraída de la zona radicular entre riegos consecutivos, produciendo el mejor balance económico. Representa el valor de DHS en el momento de riego.

3- Uniformidad de distribución (UD) Se obtiene a partir de los datos de campo resultantes de la evaluación y es un indicador de la uniformidad de altura de agua infiltrada en el conjunto de la parcela.

“Jesús Menéndez”

4- Coeficiente de uniformidad (CU) propuesto por Christiansen, (1942), es una representación estadística de la uniformidad, utilizada principalmente en los sistemas de aspersión.

Luego Heermann y Hein, (1968), modificaron este coeficiente de uniformidad para evaluar los sistemas pivotes centrales, donde cada pluviómetro representa una corona circular de área creciente a medida que se aleja del centro del pivote.

5- Coeficiente de variación (CV), es un estadístico universal para la uniformidad, es la varianza de población o de forma equivalente y el coeficiente de variación.

6- Coeficiente de uniformidad estadístico (CUE).

7- La Efa referida al 25% de las observaciones más desfavorables Efa.

Cuando la media del 25% de las observaciones de menor valor del agua de riego infiltrada de riego sobrepasa el valor del DHS, entonces el numerador anterior se toma igual al DHS.

La Efa implica una medida de uniformidad, pero no indica la adecuación del riego. El valor puede ser alto por una buena uniformidad de distribución, pero puede tratarse de un riego escaso que no cubre el DHS. Un valor bajo puede deberse tanto a una mala uniformidad de distribución del agua, como a un riego excesivo.

8- Eficiencia potencial de aplicación referida al 25% de las observaciones más desfavorables (EPA).

9- Eficiencia de descarga (Ed) o proporción de agua que llega al suelo

La diferencia entre las cantidades medias descargadas y las cantidades medias recogidas en los pluviómetros, son las pérdidas durante el proceso de riego, así como los errores propios de medidas.

“Jesús Menéndez”

Estas pérdidas incluyen:

- a) La evaporación y el arrastre de las gotas por viento.
- b) El agua que cae fuera del área cubierta por los pluviómetros, (parte de estas pérdidas, pueden compensarse en sistemas fijos que funcionan en bloques de riego).
- c) La evaporación que exista en los pluviómetros.

1.4.1. Evaluación de pivotes centrales.

Los equipos se ensayarán en las condiciones normales de trabajo, aprovechando los primeros estados de desarrollo del cultivo para interceptar la recogida de agua en los pluviómetros. Cuando esto no sea posible, se utilizará el camino de acceso al centro del pivote para realizar el ensayo.

Para la realización de las evaluaciones en los sistemas pivotes, se sigue la metodología propuesta en las normas internacionales: ANSI/ASAE STANDARD S436 (1995 e ISO - 11545) (1994) propuesta por Tajuelo, (2005). Las evaluaciones pluviométricas en las máquinas de riego de pivote central, resulta más complejo que en otros sistemas de aspersión, porque la corona circular representada por cada pluviómetro, es mayor en la medida que su posición se aleja del pivote.

Luego, el peso relativo de los diferentes pluviómetros en el cálculo de los parámetros de uniformidad no puede ser igual, lo que da lugar a que se introduzca un factor de ponderación que se corresponde con la superficie que representa cada pluviómetro y por consiguiente todos los coeficientes de uniformidad calculados resultan ponderados por la superficie.

El uso de coeficientes de uniformidad ponderados por superficie para máquinas de pivote central, se viene planteando desde el pasado siglo en la bibliografía internacional de Merrian *et al.*, (1980), destacándose los trabajos de Heermann y Hein, (1968), que modificaron el conocido Coeficiente de Uniformidad de Christiansen, (1942) para ponderarlo por superficie.

“Jesús Menéndez”

Posteriormente, Merriam y Keller (1978) y Merriam *et al.* (1980), citado este último por Faci y Bercero (1990), contribuyeron todos al desarrollo de los actuales conceptos de la ponderación por superficie.

En nuestro país se publica sobre la ponderación por superficie para las máquinas de pivote central en los trabajos de Pacheco *et al.* (1995), Pérez (1998) y Pacheco y Gálvez (2003).

M A T E R I A L E S Y M É T O D O S

“Jesús Menéndez”

II. MATERIALES Y MÉTODOS.

El presente trabajo se realizó en el campo 330 de la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC-3) “Jesús Menéndez”, perteneciente a la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú. Esta unidad está ubicada en el km 4 ½ de la carretera a Sagua la Grande, municipio Santa Clara, provincia Villa Clara. La zona se encuentra a una altura de 117,444 metros sobre el nivel del mar (msnm), con una latitud de 22,43° y longitud de 79,98°, que se puede apreciar en la figura 2.1. El estudio se llevó a cabo en el período comprendido de enero-abril del 2014. La tecnología de riego empleada fue por aspersión, con el empleo de una máquina de pivote central eléctrica, cuyas características se reflejan en la tabla 2.1.



Figura 2.1. Ubicación geográfica de la UBPC -3 Jesús Menéndez.

Tabla 2.1. Características de la máquina de riego de pivote central eléctrica.

Máquina	Marca	No. de torres	Área Regada (ha)	Caudal (l/s)	Longitud (m)	Micromódulo (l/s/ha)	Eficiencia de diseño (%)	Presión (bar)
UBPC 3	Western	5	16.10	23.45	239	1,35	85	1,9

“Jesús Menéndez”

2.1. Evaluación pluviométrica

Se realizó una evaluación pluviométrica a la máquina de riego (Fig. 2.2.), de acuerdo con la metodología que establece la norma cubana (NC, 2005) y el Reglamento para la Organización, Operación y Mantenimiento de los Sistemas de Riego y Drenaje (González, 2004). Esta se realizó en horario matutino, para evitar la influencia negativa de vientos fuertes y la evaporación, los cuales pueden modificar los resultados.

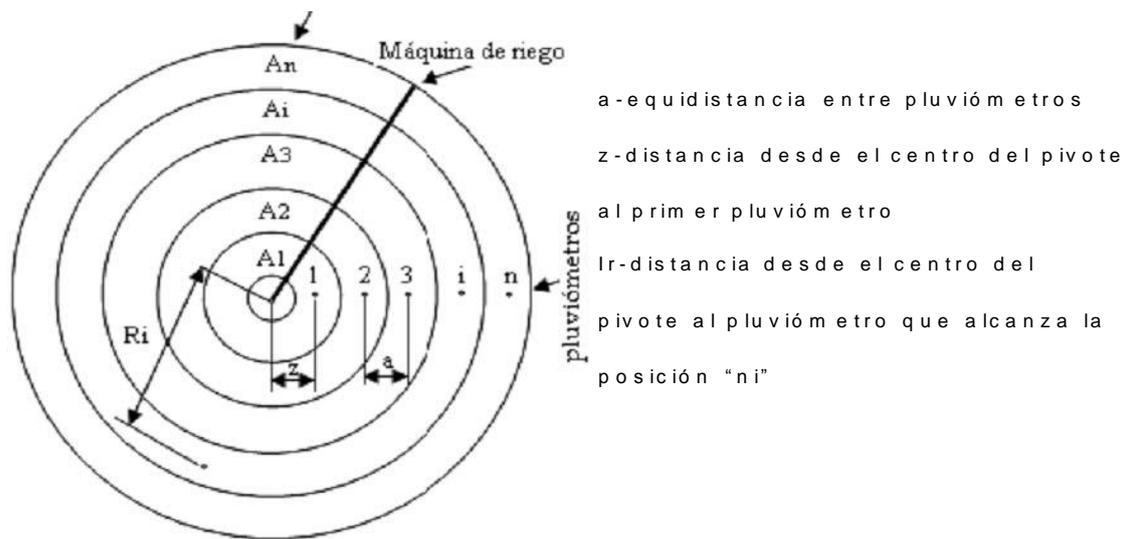


Figura 2.2. Esquema de la evaluación pluviométrica.

Se colocó una hilera de pluviómetros (diámetro de 10.5 cm) radialmente, desde el pivote hasta el extremo de la máquina, a una equidistancia de tres metros y se utilizó una cinta métrica para medir las distancias entre pluviómetros. La pluviometría recogida, se midió con una probeta graduada de 250 ml. Se determinó la velocidad del viento promedio, utilizando un anemómetro a dos metros de altura, a cada 15 minutos en el transcurso de la evaluación y con la brújula se determinó su dirección. Los datos pluviométricos obtenidos fueron procesados por el software Pluviopivot (Pacheco y Pacheco, 2004), para el cálculo del Coeficiente de Uniformidad Ponderado y la lámina media de agua aplicada (Fig.2.3).

“Jesús Menéndez”

Se calculó la velocidad de la última torre, en una distancia de cinco metros, que coincidía con el recorrido de la última rueda, se tomó el tiempo de traslado para esta distancia y se halló la velocidad a través de la relación de distancia entre tiempo ($V = S / t$).

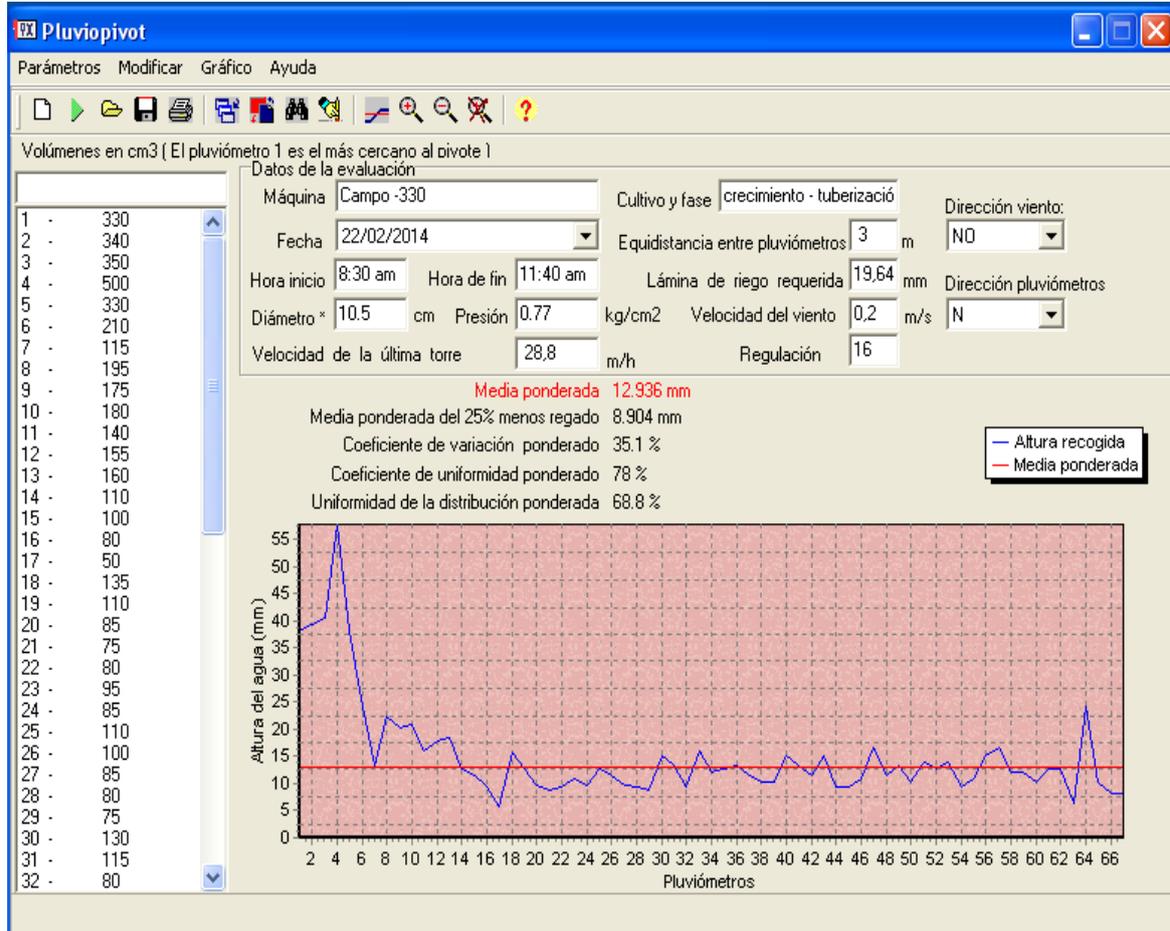


Figura 2.3 Ventana principal del software Pluviopivot.

Las pérdidas por evaporación en el aire de los pivotes, dependen principalmente de la humedad del aire, la temperatura del mismo y del agua, el tamaño de las gotas y de la velocidad del viento. De estas pérdidas, aproximadamente el 60% corresponden a evaporación y el 40% a arrastre por el viento (Tajuelo, 2005). En condiciones normales, las pérdidas por evaporación y arrastre varían entre el cinco y el 10%. Por lo antes expuesto, tratándose de un suelo llano y de alta capacidad de almacenamiento de agua, no consideramos otras pérdidas.

2.2 Eficiencia del sistema de riego.

Durante el riego, solo una parte del agua que entra en el sistema es aprovechada por las plantas y la otra se pierde. La relación entre el volumen de agua que se queda a disposición de las plantas, en la zona del sistema radicular y el agua que ingresa a través de la toma de agua, se llama eficiencia del sistema de riego (Eft).

$$Eft = Efa * Efc$$

2.1.

Donde:

Efa: Eficiencia de aplicación, (%);

Efc.: Eficiencia de conducción, (%).

La eficiencia del sistema de riego, también se puede determinar por la expresión (2.2).

$$Eft = \frac{W_{zr}}{W_f} \times 100$$

2.2

Dónde:

W_{zr}: volumen que se almacenó en la zona radicular, m³;

W_f: volumen que se extrajo de la fuente, m³.

2.2.1 Eficiencia de aplicación.

La relación entre el volumen de agua, que queda a disposición de las plantas en la zona del sistema radicular y la que entra a la parcela, se llama eficiencia de aplicación (Efa).

$$Efa = \frac{W_{zr}}{W_c} \times 100$$

Dónde:

W_{zr}: volumen que se almacenó en la zona radicular, m³;

W_c: volumen que llegó al área de riego, m³.

“Jesús Menéndez”

El volumen de agua que se almacenó en la zona radical (W_{zr}), se determinó por el método gravimétrico, según la metodología de Radulovich, (2009), donde se evaluó la humedad presente en el suelo a cada 10 cm, desde la superficie del suelo hasta 30 cm de profundidad (0-10, 10-20 y 20-30) en el perfil conocido como capa activa del cultivo. El instrumento utilizado para la toma de muestras fue una barrena agrológica. Se tomaron tres réplicas a cada profundidad, fueron pesadas con una balanza analítica (SCALTEC dpb 54) y se secaron en la estufa (Sakura) a 105 °C durante 24 h.

Posteriormente se calculó el porcentaje de humedad presente en el suelo en el momento de muestreo a través de la expresión (2.4):

$$W_p = \frac{PSHT - PSST}{PSS} \times 100 \quad 2.4$$

Dónde:

W_p : Humedad presente en el suelo, %;

PSHT: Peso del suelo húmedo más la tara, g;

PSST: Peso del suelo seco más la tara, g;

PSS: Peso del suelo seco, g.

Para determinar volumen almacenado en la zona radical en el perfil considerado de suelo se utilizó la expresión (2.5).

$$W_{zr} = 100 \times H \times Da \times W_p \quad 2.5$$

Donde:

W_{zr} : Volumen almacenado en la zona radical;

H: profundidad de estudio, m;

Da: densidad aparente, g/cm³;

W_p : Humedad real, %.

“Jesús Menéndez”

El volumen que llegó al área de riego (W_c), se determinó a partir de la lámina de agua media aplicada obtenida en la evaluación pluviométrica. Para expresar el resultado de la lámina media aplicada como norma parcial neta en (m^3/ha) se utiliza la equivalencia $1\text{ mm} = 10\text{ m}^3/ha$.

$$W_c = A_t \times N_{pn} \quad 2.6$$

Donde:

W_c : Volumen que llegó al área de riego, m^3 ;

A_t : Área total, ha;

N_{pn} : Norma parcial neta, m^3/ha .

2.2.2 Eficiencia de conducción.

A la relación entre el volumen de agua que llegó al área de riego y el volumen de agua que se extrajo de la fuente se llama eficiencia de conducción (E_{fc}).

$$E_{fc} = \frac{W_c}{W_f} \times 100 \quad 2.7$$

Dónde: W_c : volumen que llegó al área de riego, m^3 ;

W_f : volumen que se extrajo de la fuente, m^3 .

El volumen que se extrajo de la fuente (W_f), se determinó por la relación entre el caudal bombeado y el tiempo de riego, expresión (2.8). Como caudal bombeado, es asumido el que demanda la máquina de riego. Esta decisión se toma ante la imposibilidad de determinar el caudal real que entrega la bomba de riego.

$$W_f = Q_b \times T_r \quad 2.8$$

Donde:

W_f : Volumen extraído de la fuente, m^3 ;

t : tiempo de riego, h;

Q : caudal bombeado que demanda máquina, m^3/h .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

III. RESULTADO Y DISCUSIÓN

3.1 Evaluación pluviométrica

La evaluación de máquinas de riego de pivote central resulta necesaria para validar en condiciones de campo sus reales parámetros de funcionamiento (Tajuelo, 2005). Los resultados obtenidos a partir de la evaluación pluviométrica realizada (tabla 3.1), indican que la máquina del campo 330 en la UBPC 3, presentó un Coeficiente de Uniformidad Ponderado (CUP) en la actividad de riego del 78 %. A la hora de evaluar este resultado se encuentran en la bibliografía, varios criterios.

Según Montero *et al.*, (2005), es evaluado de regular. Mientras que Tajuelo, (2005), plantea que el coeficiente de uniformidad para cultivos extensivos de profundidad radical media, debe estar entre el 82% y el 88%. Al igual Moreira, (2006), Mesa y Valdés, (2006) y César-de-Lima *et al.*, (2008), afirman que con los valores de CU por debajo del 80%, la parcela queda mal regada. Por lo tanto a efectos de esta investigación el valor de CU obtenido le corresponde una clasificación de mal.

Las pérdidas de agua debido a CU bajos, tiene un costo adicional, en su transporte, consumo de energía, para garantizar más riegos. Además de causar una mayor degradación de suelos, pérdidas de fertilizantes y afectaciones en los rendimientos de los cultivos, al quedar una parte del área irrigada insuficientemente regada, mientras que otras quedan infra regada (Aleján, 2001).

Tabla 3.1. Evaluación pluviométrica de la máquina Western de la UBPC-3.

Parámetros de la evaluación	UBPC 3
Lámina de agua requerida según el operador de la máquina (mm).	19.64 mm
Regulación de la máquina (%).	16%
Velocidad de la última torre (m/h).	28.8 m/h
Lámina Media Ponderada Aplicada (mm).	12.936 mm
Coeficiente de Uniformidad Ponderado (%).	78%

“Jesús Menéndez”

Al analizar el parámetro de la uniformidad de distribución (UD), que mide el grado de altura de agua infiltrada en el 25% de los puntos de la parcela que menos agua recogen, siendo siempre inferior al CU, se obtiene como resultado un 68.8%. Este valor en la evaluación pluviométrica resulta muy bajo, para los valores de 80% considerados como buenos por (Mesa y Valdés, 2006).

La UD es un indicador de los problemas de distribución. Si un sistema de riego presenta un bajo valor del mismo y se pretende con él, abastecer el riego adecuadamente a toda el área, entonces pudieran ocurrir excesivas pérdidas, por percolación profunda en las áreas de la parcela que queden infraregada.

Trabajos realizados con anterioridad en esta máquina por Cueto, (2011) y Machado, (2012) indican que obtuvieron resultados semejantes, quienes determinaron un CU de 75.4% y 76% respectivamente. Pero si revisamos el de Treyes, (2013) el cual obtuvo un CU igual al 74.3%, se observa una diferencia significativa; siendo el valor más bajo obtenido en esta máquina (ver figura 3.1). Los valores de CU resultantes de las evaluaciones pluviométricas practicadas a esta máquina, están por debajo de los descritos por Pérez *et al.*, (2009) y Job, (2010), cuyos valores fueron 84.5% y 87.6% respectivamente; obtenidos en otras áreas de la E.A. “Valle del Yabú”.

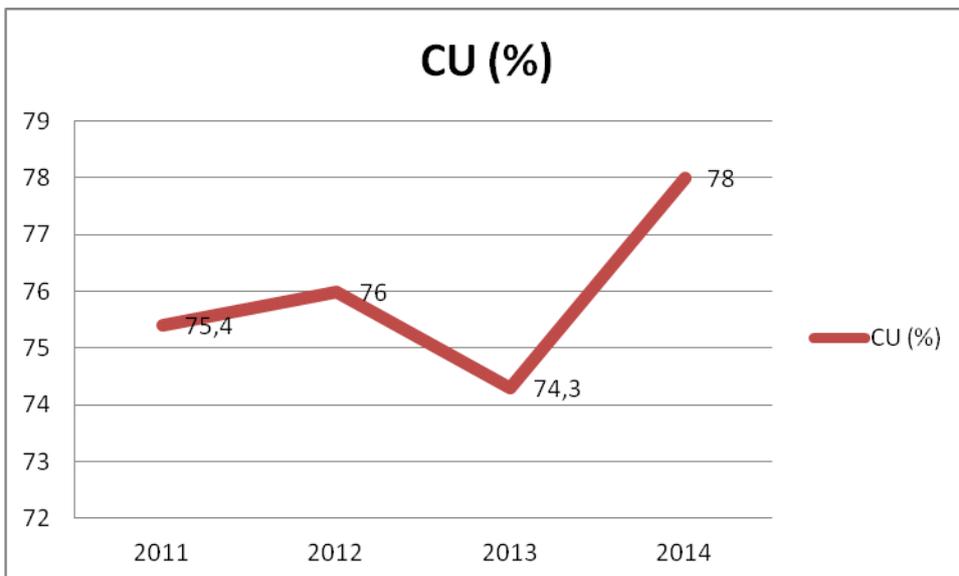


Figura 3.1 Comportamiento del CU en los últimos cuatro años.

“Jesús Menéndez”

Por otra parte se puede apreciar que la máquina aplicó una media ponderada de 12.936 mm, para una lámina requerida según el regador de 19.64 mm, lo que representa un 34.13% menos de agua aplicada.

Siendo esta la diferencia más significativa, si se compara con los trabajos realizados con anterioridad en esta máquina, por Machado, (2012) y Treyes, (2013) (ver figura 3.2.).

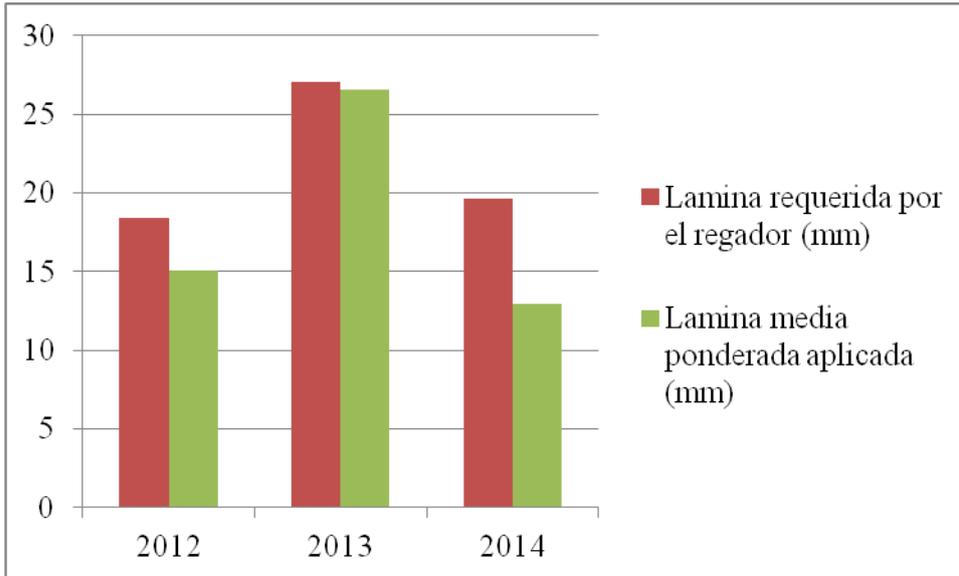


Figura 3.2. Diferencia entre la lámina requerida por el regador y la lámina media ponderada aplicada.

Durante la realización de la evaluación, se comprobó que la altura de los aspersores correspondía con un metro respecto al suelo, cumpliendo con lo recomendado por el fabricante. Por otro lado, se detectó que la distribución de las boquillas en las cinco torres no era la correcta, según lo establecido en la carta técnica del fabricante, consecuencia esta que influye negativamente en la repartición homogénea del agua sobre la superficie del suelo. En el primer tramo de la máquina a partir del pivot, las boquillas aplican mucha agua. Esto está dado por un sobredimensionamiento de los emisores colocados al principio de la primera torre (figura 3.3).

“Jesús Menéndez”

Además, se observó que el primer aspersor de la máquina no se encontraba habilitado para regar por estar muy cerca del pivot, donde no existe cultivo que se beneficie con esta actividad. El tercer aspersor de la tercera torre estaba tupidado y no hacía un reparto uniforme de la lluvia; faltaban en las huellas secas de la segunda y tercera torre una boquilla de las dos que se precisan.

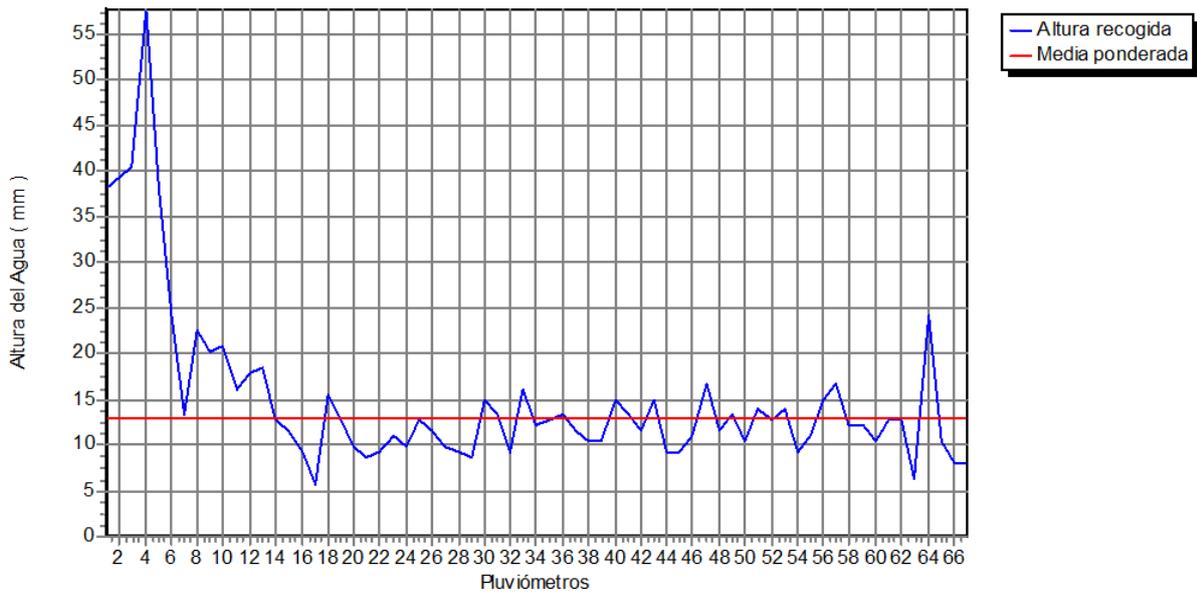


Figura 3.3 Altura del agua y media ponderada

La presión de trabajo de la máquina desde que esta se instaló ha estado oscilando entre los 0.9 bar y los 1.2 bar, no coincidiendo con los 1.9 bar recomendados en la carta del fabricante. Todas estas cuestiones influyen de manera negativa en la uniformidad de riego, además estos resultados coinciden con los de Cueto, (2011), Machado, (2012) y Treyes, (2013), quienes detectaron el mismo problema. Al igual que las evaluaciones realizadas por parte de la dirección de riego de la E.A. “Valle del Yabú”, no solo en esta máquina sino también en otras máquinas de la empresa.

La velocidad media del viento en el transcurso de la evaluación fue baja, no superó 1 m/s. La velocidad de traslado de la última torre se corresponde con la descrita por el fabricante en la carta técnica.

“Jesús Menéndez”

Una vez analizado los parámetros que intervienen en la evaluación pluviométrica, se define que la máquina de riego de pivote central eléctrica, empleada en el campo 330 de la UBPC-3 presenta una diferencia significativa entre la lámina requerida según el regador y la media ponderada que ofrece el software. Pluviopivot de Pacheco y Pacheco, (2004). Además de una uniformidad de distribución baja, al igual que el coeficiente de uniformidad. Por tanto, la máquina no deja el 80% del área adecuadamente regada; que es lo óptimo en este tipo de sistema de riego.

3.2. Eficiencia del sistema de riego

La eficiencia de riego es un término general, muy útil para describir la efectividad del riego en un simple campo, siendo un concepto muy utilizado en proyectos y manejo de sistemas de riego. Hallando la forma más común de expresarla, en tanto por ciento.

Al ser evaluado el sistema de riego del campo 330 de la UBPC-3, compuesto por una máquina de pivote central eléctrica, se determinó que la eficiencia del sistema es de 43,79%. Resultado muy bajo para este tipo de sistema de riego, considerando que para el riego por aspersión de forma general, la eficiencia debe estar entre los 65 y 80%, según Varas y Sandoval, (1991).

Aunque otros autores dan valores más bajos según Catalana., (2008), los que rondan entre 55 y 65%. Si bien, son valores más bajos, el resultado obtenido sigue siendo inferior a lo establecido para este método de riego. En este parámetro influyen dos variables, la eficiencia de aplicación y la eficiencia de conducción, si una de las dos es insuficiente va afectar directamente este resultado.

Por lo tanto, la obtención de un valor de eficiencia de conducción bajo (58.25%), va a constituir el parámetro más influyente de forma negativa en la eficiencia total del sistema. Ya que la eficiencia de aplicación obtenida no fue la óptima para este tipo de sistema (75.17%), pero constituye un resultado que se encuentra dentro de los parámetros.

“Jesús Menéndez”

3.2.1 Eficiencia de aplicación

La eficiencia de aplicación, implica una medida de uniformidad, pero no indica la adecuación del riego. El valor puede ser alto por una buena uniformidad de distribución, pero puede tratarse de un riego escaso que no cubre el déficit de humedad en el suelo. Un valor bajo puede deberse tanto a una mala uniformidad de distribución del agua, como a un riego excesivo según Tajuelo, (2005).

Al determinar la eficiencia de aplicación, se obtuvo un valor de 75.17%, lo que indica que del total del agua bombeada se perdió un 24.3%. Este valor de Efa, se encuentra dentro del rango; el cual se puede considerar como medio, ya que para estos sistemas de riego los valores deben oscilar entre el 65% y 85%, según Moreira, (2006) y Santos *et al.*, (2010).

El resultado alcanzado como Efa, se aproxima a los 78.6% obtenidos por Mujica *et al.*, (2014), con un mejor valor de CU (82.3%). Por otra parte si se analiza lo planteado por Alemán, (2001), el cual plantea que para valores de CU de 90; 80; 70 y 60%, corresponden eficiencias de aplicación del 88; 76; 64 y 52% respectivamente; entonces se puede observar que existe correspondencia entre el valor de Efa decretado y el CU obtenido en la evaluación pluviométrica, antes planteado.

En el resultado obtenido, pudo influir en los cinco riegos realizados fuera de la fecha recomendada. En el balance de riego realizado por Arguelles, (2014) (ver Anexo 6) se puede observar, además, que se realizaron dos riegos más de lo previsto en este balance. Ya que la Efa no constituye tan solo un indicador de la calidad del proyecto o sistema de riego, sino que también depende en gran medida de la operación del sistema por parte del regador según García y Fontova, (1998).

La eficiencia de aplicación, es un parámetro que cuantifica cuánto del agua aplicada es realmente utilizada. Lo que presupone que trabajar con los mejores indicadores de Efa del agua, tiene beneficios económicos porque el agricultor obtiene mayores producciones brutas del cultivo.

“Jesús Menéndez”

A la vez que reduce los costos y aumenta el beneficio ecológico, debido a un mejor uso de los recursos hídricos, a un menor consumo energético por unidad de superficie cultivada según Alemán, (2001).

3.2.2 Eficiencia de conducción

La eficiencia de conducción obtenida fue del 58.25%, un valor extremadamente bajo para este tipo de sistema de riego porque se establece como Efc., en sistemas de riego de aspersión, valores de hasta 90% según Catalana., (2008). Además se comprobó que ni en la conductora ni en la máquina existían salideros.

Este bajo valor puede estar asociado a que como en la realización del trabajo no se pudo comprobar el valor real del caudal entregado por la bomba debido a las negativas de la dirección de riego de la E.A. “Valle del Yabú” se tuvo que asumir como valor bombeado, para los cálculos de eficiencia, el demandado por la máquina. Este resultado indica que puede existir una discordancia entre estos dos valores.

Muestra de ello puede ser la diferencia de un 34.13% entre la media ponderada y la lámina requerida por el regador y que el sistema no alcanza la presión recomendada por el fabricante. La unión de estos parámetros puede implicar que la bomba no está cumpliendo con los requerimientos.

3.3. Análisis Económico

Para darle un significado más útil al concepto de CU, nos apoyamos en lo planteado por Tajuelo, (2005). Este autor asevera que con un valor del 70% de CU se necesita el 25% más de agua que si el CU fuese del 85%.

Por lo tanto, como en la evaluación pluviométrica practicada a la máquina de pivote central eléctrica del campo 330 de la UBPC-3 se obtuvo un resultado de CU ascendente al 78%, se puede concluir que se necesitaría aplicar un 22.9% más de agua que si fuera del 85%, para poder obtener un 80% del área adecuadamente regada. Este valor es lo óptimo en este tipo de sistema de riego.

“Jesús Menéndez”

Siendo así y determinando que en la campaña de papa 2013-2014 se dieron un total de 14 riegos (Anexo 5), que consumieron un total de 74 840.85 m³ de agua. De ahí que considerando lo anteriormente planteado, se aplicó un 17 138.55 m³ más de agua de lo requerido, que si la máquina estuviera regando con un CU del 85%. Si se tiene en cuenta que el precio del agua por cada mil metros cúbicos es de \$ 0,90 según el Ministerio de Finanzas y Precios, entonces la UBPC-3 incurrió en un gasto adicional \$15.42 por ser el CU inferior al 85%. Además si se toma en cuenta que con la eficiencia de aplicación obtenida (75.17%), se perdió un 24.3%, del total del agua bombeada (18186.33 m³), esto equivale a \$16.37 de pérdidas por este concepto. Sumando ambos valores nos da un monto total de \$31.79.

En resumen al analizar de manera global el bajo valor de coeficiente de uniformidad obtenido (78%) conjuntamente con la eficiencia total del sistema (43.79%), se concluye que la máquina de riego de pivote central eléctrica de la unidad está efectuando los riegos de manera ineficiente. Debido a que ambos valores deben oscilar entre los 80 y 90%.

Por tal motivo, se sugiere un análisis por parte de la dirección de la UBPC para tomar decisiones dirigidas a la mejora de estos dos aspectos. Porque estos pueden influir de manera directa en un aumento del consumo de agua y energía, así como en la disminución de los rendimientos agrícolas. Por tanto, se puede comprobar la hipótesis de investigación planteada.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES.

- La evaluación pluviométrica de la máquina de riego indica que estaba aplicando la lámina media requerida con un coeficiente de uniformidad ponderado del 78% , el cual permite calificar la uniformidad de riego como mal.
- Al determinar la eficiencia total del sistema de riego se obtuvo un resultado de 49.73% , lo que clasifica como mal. Este resultado está influenciado en gran medida por el bajo valor obtenido en la eficiencia de conducción con un 58.25% y en la eficiencia de aplicación fue regular con un valor de 75.17% .
- El bajo valor de la eficiencia de conducción, conjuntamente con la imposibilidad del sistema de alcanzar la presión requerida, y la diferencia significativa entre la lámina de riego requerida y la lámina media ponderada indica la deficiencia de la bomba de cumplir con los parámetros de trabajo del sistema .
- La UBPC -3 incurrió en un gasto adicional de 35324.88 m³ de agua con un valor ascendente \$35.33, por presentar un bajo CU y una Efa regular.
- La calidad del riego en el campo 330 de la UBPC -3 es considerada como ineficiente, lo que indica un deficiente manejo y manutención del sistema de riego, con el cual se puede lograr mayores prestaciones.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES.

- Evaluar el desempeño de la estación de bombeo que abastece la máquina de riego de la UBPC -3.
- Reordenar y completar las boquillas de la máquina de riego para lograr un reparto más uniforme del agua.
- Aplicar el riego de acuerdo a la programación de riego, lo que contribuirá a mejores parámetros de eficiencia de aplicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEMÁN, C.: "Calidad del riego y eficiencia del uso del agua en los pivotes centrales", *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, 22(2): 2001.
- ALONSO, D. *El riego por aspersión [en línea] Disponible en:*
<http://legado.inea.org/web/materiales/web/riego/anuncios/trabajos/El%20riego%20por%20aspersi%C3%B3n.pdf> [Consulta: 5 Marzo 2014].
- ARGUELLES, R.: *Incidencia de la programación de riego para el ahorro de agua, energía eléctrica y los rendimientos del cultivo de la papa en la UBPC-3,* "Jesús Menéndez", Departamento de Agronomía, Universidad Central "MARTA ABREU" de las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2014.
- BERNARDO, S. y A. A. M. SOARES, E. C.: *Manual de Irrigação*, 2009.
- BOS, M. G.; M. A. BURTON y D. J. MOLDEN: *Irrigation and drainage performance assessment*, 2005.
- BUENDIA, J. C.; E. E. PALACIOS; J. M. CHÁVEZ y B. M. ROJAS: "Impacto del funcionamiento de los sistemas de riego presurizados en la productividad de ocho cultivos", *Agrociencia*, 34(5): 477-486, 2004.
- CATALANA., A. *Eficiencia en el riego agrícola [en línea] enero, 2000.*
Disponible en: <<http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P1400026681236618303483&profileLocale=es>> [Consulta: febrero 2014].
- CÉSAR-DE-LIMA, A.; S. CAMARGO-GUÑÁRES-JR; C. R. FIETZ y J. R. CAMACHO: "Energetic Flow and Efficiency Indicators in Center Pivot Irrigation", *Agrociencia*, (42): 2008.
- CHRISTIANSEN, J. E.: *Irrigation by Srinkling*, Ed. University of California. Agricultural Experimental Station, Berkeley, California., 1942.
- CRIDDLE, W. D.; S. C. DAVIS y D. G. SHUCKELY: *Methods for evaluation irrigation systems*, Ed. Agricultural Handbook. USDA, Washington, 1956.
- CUETO, Y.: *Programación del riego de la papa (Solanum tuberosum Sw.) con máquinas de pivote central, en la Empresa Cultivos Varios "Valle del Yabú"*, Departamento de Agronomía, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuaria, 201

- DOMÍNGUEZ, M.: "Relationship between irrigation uniformity parameters in center pivot machines", *Ciencias Técnicas Agropecuaria*, 21(3): 2012.
- ENRÍQUEZ, E. y W. GREVENSON: *Simposio Internacional de Fertirrigación*, Conferencia Regional panamericana, Yucatán, 2000.
- FACI, J. y A. BERCERO: "Desarrollo de coeficiente de uniformidad ponderados con la superficie en evaluaciones de riego de ramales autotrasportados giratorios (pivotes)", *Producción y Protección Vegetal*, 5(1): 103-113, 1990.
- FACI, J. y J. CASTEL: Evaluación y mejora de sistemas de riego. Memorias de, 1982, pp., INIA Córdoba. 1982.
- FACI, J. M.: El riego por aspersión: efecto de la baja presión en la uniformidad. En: Jornada Técnica: Sistemas de riego en baja presión. CGRCAC, pp., Unidad de Suelos y Riegos (Unidad Asociada EEAD-CSIC) Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria. 2013.
- FLÓREZ, F.; I. ZUTIÓN; D. R. CALVACANTE; E. AUGUSTO; F. PONCIANO; M. DIEGO y E. EIJI: "Efficient Water Application on Soil Surface and in the Soil Profile in a Sprinkler Irrigation System", *Agrociencia*, 47(2): 2013.
- GARCÍA, E. y M. FONTOVA: *INGENIERIA DE RIEGO* 1998.
- GARCÍA, M.: Eficiencia del Riego. En, pp., Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Uruguay. 2009.
- GONZÁLEZ, P.: *Manual para el diseño y operación de máquinas de pivote central*, 2004.
- : *Mejoramiento del uso y explotación de los difusores de baja presión y bajantes, en las máquinas de riego por aspersión*, Informe Final, IIRD Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje. La Habana 2006.
- HEERMANN, D. F. y P. R. HEIN: *Performance characteristics of self-propped center pivot sprinkler irrigation system*, Ed. ASAE, USA, 1968.
- JOB, B.: *Programación de riego en el cultivo de la papa utilizando una máquina de riego pivote central en la UBPC-2 de la empresa cultivos varios Valle del Yabú*, Departamento de Agronomía, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2010.
- LORITE, I. J.; L. MATEOS y E. FERERES: "Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment", (23): 77-84, 2004.

- MACHADO, Y.: *Determinación de la calidad del riego con máquina de pivote central en la UBPC 3 de la Empresa Agropecuaria "Valle del Yabú"*, Tesis para aspirar al título de Ingeniero Agrónomo, Departamento de Agronomía Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas Facultad de Ciencias Agropecuarias 2012.
- MERRIAN, J. L. y J. KELLER: *Farm irrigation systems evaluation*, 1978.
- MERRIAN, J. L.; M. N. SHARE y C. M. BURT: *Evaluating irrigation systems and Practice*, Ed. ASAE, Michigan.USA., 1980a.
- MESA, R. y Y. VALDÉS: *Un nuevo enfoque para la evaluación integral de la calidad de riego de los pivotes.*, Trabajo de Diploma, Facultad de Ingeniería Civil. Centro de Investigaciones Hidráulicas, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría 2006.
- MONTERO, J.; F. ORTEGA; T. HONRUBIA; J. ORTIZ y M. VALIENTE: *Recomendaciones para un adecuado diseño y manejo de los sistemas de riego por aspersión*, Centro regional de Estudios del Agua, Universidad de Castilla, Instituto de Desarrollo Regional, 2005.
- MOREIRA, H. *Sistema de suporte à decisão agrícola [en línea] febrero, 2014.*
Disponible en: <http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/anais2.pdf>. [Consulta: marzo 4 2014].
- MUJICA, A.; M. LÓPEZ; D. CARMENATES; C. MUJICA y A. R. RIVERON: "Evaluación de los indicadores hidráulicos de las máquinas de pivote central eléctrica", *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(1):2014.
- NC: 115:45. *Máquinas agrícolas para riego - pivotes centrales y máquinas de avance frontal equipadas con boquillas difusoras o aspersores - determinación de la uniformidad de distribución del agua.* pp. 2005.
- PACHECO, J.; N. ALONSO; P. PUJOL y E. CAMEJO: *Riego y Drenaje*, 1995.
- PACHECO, J. y G. GALVEZ: Evaluación pluviométrica con ponderación de las áreas con máquinas de riego pivote central. En: Conferencia Internacional sobre el Desarrollo Agropecuario y Sostenibilidad, pp., Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. FCA. Villa Clara. 2003.
- PACHECO, J. y Y. PACHECO: "Aplicación de software para calcular coeficientes de uniformidad ponderados por superficie en máquinas de riego de pivote central", *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 1(2):2004.

- PEITEADO, C.: Curso de riego para agricultores. *Life*. pp. 2005.
- PÉREZ, J. R.: *Un manual de practica laboral de riego y drenajes para estudiantes de 4to año agronomía*, Tesis presentada en opción al Título de M.Sc. en Riego y Drenaje, ISCAH, La Habana, 1998.
- PÉREZ, R.; E. R. JIMÉNEZ; M. DOMÍNGUEZ; L. MONTERO y R. CUN: "Costos de operación en los sistemas de riego mecanizado de pivote central", *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, 30(3): 2009.
- RADULOVICH, R.: "Método gravimétrico para determinar in situ la humedad volumétrica del suelo", *Agronomía Costarricense*, 33(1): 121-124, 2009.
- REQUENA, A. y R. MARTÍNEZ: "El Riego con Grandes Máquinas", *INTA*, 63: 2010.
- SANTOS, L.; J. A. DE JUAN; M. R. PICORNELL y J. M. TAJUELO: *El riego y sus tecnologías*, Ed. Editora Europa-América, Primera edición en castellano ed, Lisboa, 2010.
- TAJUELO, J. M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, 2005.
- TRAXCO. *Mantenimiento del sistema Pívo t [en línea] enero, 2013. Disponible en: <http://www.traxco.es/mantenimiento-del-sistema-pivot/> [Consulta: febrero 7 2013].*
- TREYES, A.: *Influencia de la baja uniformidad de riego con máquina de pivote central sobre el rendimiento de la papa (Solanum tuberosum L.)*, Tesis para aspirar al título de Ingeniero Agrónomo, Departamento de Agronomía, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2013a.
- VARAS, E. y J. SANDOVAL: *Manual de riego*, Ed. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile, 1991.
- ZOCOLER, J. L.; L. E. VILAR y L. S. VANZELA: "Efeito da posição relativa da linha lateral de um equipamento de irrigação do tipo pivô central na uniformidad de distribuição de água e eficiência da irrigação", *Engenharia na Agricultura*, 12(4): 290-297, 2004.

A N E X O S

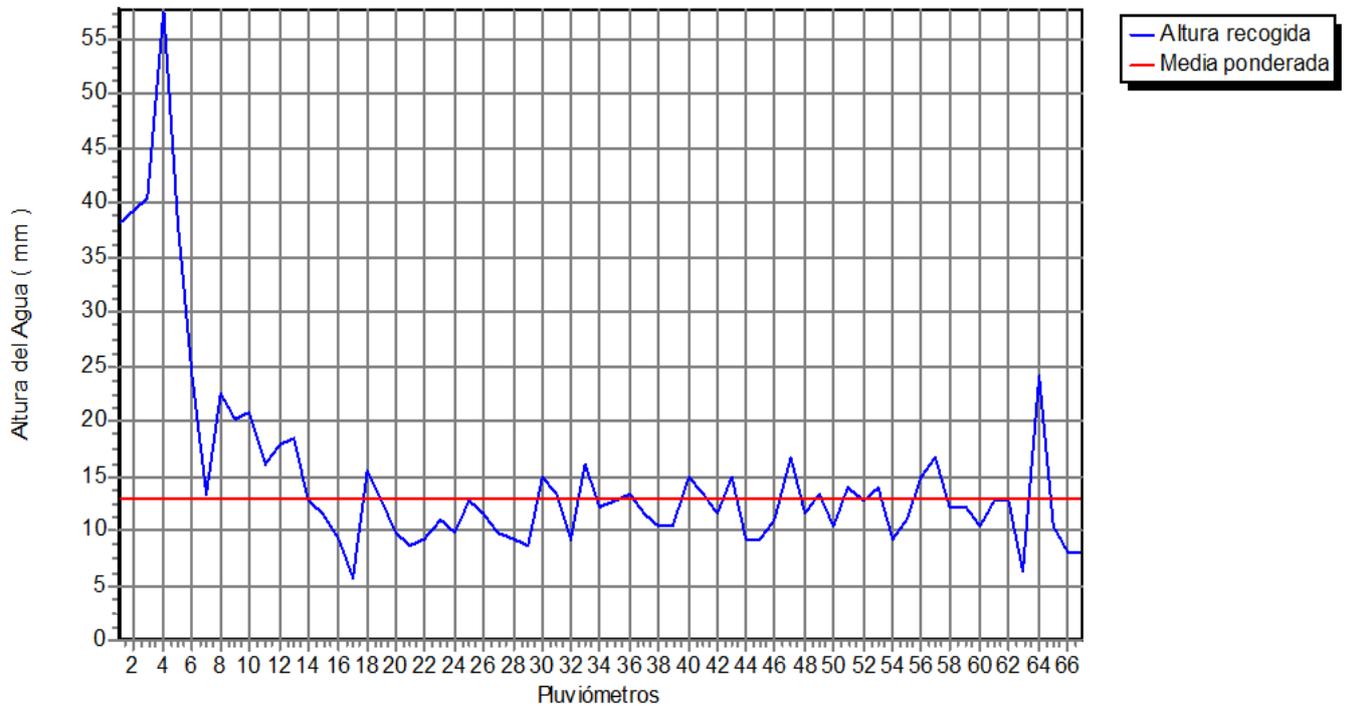
ANEXOS

Anexo 1. Evaluación pluviométrica de la máquina de riego UBPC 3

Evaluación Pluviométrica

Datos de la evaluación	
Máquina: Campo -330	Presión en el pivote: 0.77 kg/cm ²
Cultivo y fase: crecimiento - tuberización	Regulación: 16
Fecha: 22/02/2014	Lámina de riego requerida: 19,64 mm
Hora de inicio: 8:30 am	Velocidad del viento: 0,2 m/s
Hora de fin: 11:40 am	Velocidad de la última torre: 28,8 m/h
Diámetro: 10,5 cm	Dirección del Viento: NO
Equidistancia: 3 m	Dirección de los pluviómetros: N

Altura del agua y media ponderada



Parámetros calculados	
Media Ponderado	12,936 mm
Media Ponderada del 25% menos regado	8,904 mm
Coefficiente de Variación Ponderado	35,1 %
Coefficiente de Uniformidad Ponderado	78 %
Uniformidad de la distribución ponderado	68,8 %

Anexo 2. Carta técnica de la máquina de riego según el fabricante.

UBPC 3 Jesús Menéndez.

Campo 30

Máquina de pivote central eléctrica marca Western.

Área 14.16 ha

Longitud de la máquina 237 m



1 tramo de 61.2 m

Presión del sistema 1.9 bar

1 tramo de 60.6 m

Flujo total del sistema 1407.0 Lpm (23.45 L/s)

2 tramos de 54.4 m

1 voladizo de 6.4 m

Aplicación de agua en (mm)	Configuración del cronometro (%)	Velocidad de la última torre (m/min)	Tiempo por revolución (horas)
3.68	100	3.05	7.45
4.09	90	2.74	8.83
4.60	80	2.44	9.94
5.26	70	2.13	11.36
5.67	65	1.98	12.23
6.14	60	1.83	13.25
6.70	55	1.68	14.45
7.37	50	1.52	15.90
8.19	45	1.37	17.67
9.21	40	1.22	19.87
10.53	35	1.07	22.71
12.28	30	0.91	26.50
14.74	25	0.76	31.80
18.42	20	0.61	39.75
19.64	16	0.48	42.35
24,56	15	0.46	53.0
30.70	12	0.37	66.24
40.93	9	0.27	88.33
61.40	6	0.18	132.49
122.80	3	0.09	264.98

Anexo 3. Orden de las boquillas en la máquina de riego.

Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Voladizo	
09	13	18	19	22	26
09	14	18	19	23	31
09	14	18	19	23	37
09	14	19	19	23	35
09	14		20	23	
09	14		19	24	
09	15		20	23	
09	15		20	24	
09	15		20	23	
09	15		20	24	
09	15		20	24	
09	15		21	24	
10	16		20	24	
10	16		21	24	
10	16		21	24	
10	16		21	25	
11	16		21	25	
11	17		22	25	
11	16		21	25	
11	09		22	25	
12	17		22	25	
12	17		22	25	
12	17		22	25	
13	18		22	26	
12	17		22	25	
12	18		22	26	
13	18		22	27	
Huella (12-0)	18		Huella 27		Huella (30-28)

Anexo 4. Modelo para el procesamiento de las muestras de suelo.

Fecha y hora de la toma de muestra de suelo: 24/2/2014 08:30 am							
Profundidad cm	No. PF	Tara del PF (1)	Peso(g) PF+SH (2)	Peso(g) PF+SS (3)	Peso(g) Suelo Seco Col 3-Col 1 (4)	Peso(g) Agua Col 2-Col 3 (5)	% de Humedad 100*col 5/col 4 (6)
0-10	89	24.4	87.4	64.6	40.2	22.8	56.7
10-20	35	24.5	127.8	91.1	66.6	36.7	55.1
20-30	114	24.7	135	96.0	71.3	39.0	54.6
Humedad promedio 0-30 cm						(55.47)	

Fecha y hora de la toma de muestra de suelo: 24/2/2014 08:30 am							
Profundidad cm	No PF	Tara del PF (1)	Peso(g) PF+SH (2)	Peso(g) PF+SS (3)	Peso(g) Suelo Seco Col 3-Col 1 (4)	Peso(g) Agua Col2-Col 3 (5)	% de Humedad 100*col 5/col 4 (6)
0-10	41	25.0	73.3	56.0	31.0	17.3	55.8
10-20	79	24.8	103.3	72.6	47.8	30.7	64.2
20-30	121	24.5	123.3	89.5	65.0	33.8	52.0
Humedad promedio 0-30 cm						(57.53)	

Fecha y hora de la toma de muestra de suelo: 24/2/2014 08:30 am							
Profundidad cm	No PF	Tara del PF (1)	Peso(g) PF+SH (2)	Peso(g) PF+SS (3)	Peso(g) Suelo Seco Col 3-Col 1 (4)	Peso(g) Agua Col2-Col 3 (5)	% de Humedad 100*col 5/col 4 (6)
0-10	38	25.0	82.8	63.0	38.0	19.8	52.1
10-20	104	24.6	86.8	66.0	41.4	20.8	50.2
20-30	122	24.7	120.2	85.0	60.3	35.2	58.4
Humedad promedio 0-30 cm						(53.57)	

Símbolos y cálculos:

-No PF= número del pesafiltro.

-Tara del PF= peso del pesafiltro vacío con su tapa.

-PF+SH= Peso del pesafiltro+ suelo húmedo (Inmediatamente después de tomada la muestra)

-PF+SS= Peso del pesafiltro + peso suelo seco (Después de secado en estufa).

-% de humedad = (100 x columna 5)/ Columna 4. Es la humedad del suelo en % del peso del suelo seco.

5	Hana dón											
6	3,18											
7	1,75											
8	2,39											
9	2,46											
10	3,05											
11	3,29											
12	3,25											
13	3,20											
14	3,49											
15	3,16	0,95	3,00	0,20	99,07	99,07	14,3	3	0	19,80	Regp	RR(20%)18,42mm
16	2,35	0,95	2,23	0,20	99,07	95,07			3,00	19,80		
17	1,95	0,95	1,85	0,25	123,84	119,76			4,08	24,70		Urec y tuberizacion
18	2,70	0,95	2,55	0,25	123,84	117,91			5,93	24,70		
19	2,81	0,95	2,66	0,25	123,84	115,35			8,49	24,70		
20	3,00	0,95	2,85	0,25	123,84	112,69			11,15	24,70		
21	3,28	0,95	3,11	0,25	123,84	109,84			14,00	24,70		

22	295	0,95	2,81	0,25	123,84	105,73			17,11	24,70		RR16% ϕ 19,64mm
23	291	0,95	2,76	0,25	123,84	123,84			0	24,70		
24	284	0,95	2,69	0,25	123,84	121,07			2,77	24,70	Rego	
25	280	1,10	3,08	0,25	123,84	118,38			5,46	24,70		RR20% ϕ 18,42mm
26	314	1,10	3,45	0,25	123,84	123,84			0	24,70		
27	345	1,10	3,79	0,25	123,84	120,39	12	3,45	3,45	24,70		Uma
28	324	1,10	3,55	0,25	123,84	123,84			0	24,70		
29	346	1,10	3,80	0,25	123,84	120,28			3,56	24,70	Rego	
30	327	1,10	3,59	0,25	123,84	116,69			7,15	24,70		
31	355	1,10	3,91	0,25	123,84	113,09			10,75	24,70		

Balance febrero

	H	V _{max}	V _p	Fc	Pa	Lr	Im _p	Rego	RR%			
Día	Eto Perm Mnt (mm)	Kc	EC (mm)	Capa activa de suelo (m)	Reserva máxima de agua en el suelo (mm)	Reserva de agua presente en la capa activa de suelo (mm)	Lluvia caída (mm)	Lluvia Aprox (mm)	Deficit hídrico presente en el suelo (mm)	Deficit hídrico máximo	Fecha de riego según balance (mm)	Fecha de riego real y regulación de la máquina (mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3,35	1,10	3,68	0,25	123,84	109,18			14,66	24,70		
2	3,12	1,20	3,74	0,25	123,84	105,5			18,34	24,70		
3	3,00	1,20	3,6	0,25	123,84	101,75			22,1	24,70	Riego	RR 13% 28,3mm
4	2,93	1,20	3,51	0,25	123,84	123,84			0	24,70		
5	3,45	1,20	4,14	0,25	123,84	120,32			3,51	24,70		
6	3,55	1,20	4,26	0,25	123,84	116,18			7	24,70		
7	3,46	1,20	4,15	0,25	123,84	111,92			11,92	24,70		

8	362	1,20	4,34	0,25	123,84	107,77	44	0	16,07	24,70		RR(9%) 40,93mmh
9	337	1,20	4,04	0,25	123,84	123,84			0	24,70	Rego	
10	351	1,20	4,21	0,25	123,84	119,79			4,04	24,70		
11	352	1,20	4,22	0,25	123,84	115,57			8,27	24,70		
12	366	1,20	4,39	0,25	123,84	111,34			12,5	24,70		Engosamento da tuberculo
13	351	1,3	4,55	0,25	123,84	105,94			16,9	24,70		
14	242	1,3	3,14	0,25	123,84	102,37			21,47	24,70		
15	355	1,3	4,61	0,25	123,84	99,22			24,62	24,70	Rego	RR(13%) 28,3mm
16	350	1,3	4,55	0,25	123,84	123,84			0	24,70		
17	357	1,3	4,64	0,25	123,84	119,29			4,55	24,70		
18	346	1,3	4,49	0,25	123,84	114,8			9,04	24,70		
19	345	1,3	4,48	0,25	123,84	110,31			13,53	24,70		
20	347	1,3	4,51	0,25	123,84	105,83			18,01	24,70		
21	393	1,3	5,10	0,25	123,84	101,32			22,52	24,70		
22	400	1,3	5,2	0,25	123,84	95,22			27,62	24,70	Rego	RR(12%) 30,70mm
23	393	1,3	5,10	0,25	123,84	123,84			0	24,70		
24	395	1,3	5,14	0,25	123,84	118,74			5,10	24,70		

1	3,59	1,3	4,66	0,25	123,84	119,95			3,87	24,70	Rego	
2	3,68	1,3	4,78	0,25	123,84	115,29			8,55	24,70		
3	3,94	1,3	5,12	0,25	123,84	110,50			13,34	24,70		RR(20%) 18,42mm
4	4,39	1,3	5,70	0,25	123,84	123,84			0	24,70		
5	4,01	1,3	5,21	0,25	123,84	118,13			5,70	24,70		
6	3,97	1,3	5,16	0,25	123,84	112,91			10,93	24,70		
7	4,12	1,3	5,35	0,25	123,84	107,74			16,1	24,70		
8	4,26	1,3	5,53	0,25	123,84	102,39			21,25	24,70	Rego	RR(13%) 28,3mm
9	4,02	1,3	5,22	0,25	123,84	123,84			0	24,70		
10	4,40	1,3	5,72	0,25	123,84	118,62			5,22	24,70		
11	4,79	1,3	6,22	0,25	123,84	112,9			10,92	24,70		
12	4,84	1,3	6,29	0,25	123,84	106,68			17,16	24,70		
13	2,62	1,3	3,40	0,25	123,84	117,54			23,45	24,70	Rego	RR(13%) 28,3mm
14	3,21	1,3	4,17	0,25	123,84	123,84			0	24,70		
15	4,26	1,2	5,11	0,25	123,84	119,67			4,17	24,70		
16	4,66	1,2	5,59	0,25	123,84	114,56			9,28	24,70		
17	4,95	1,2	5,94	0,25	123,84	108,97			14,87	24,70		
18	4,50	1,2	5,4	0,25	123,84	103,03			20,81	24,70	Rego	RR(12%) 30,70mm

