

UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA



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".

Tesis para aspirar al título de Ingeniero Agrónomo

Autor: Rosali Arguelles Santana

Tutor: Ing. Andrés Pérez Corra

Santa Clara, 2014

El consumo de la papa constituye un deleite para el General.

Gabriel García Márquez.

Dedicatoria.

Especialmente a mi madre, por siempre confiar y creer en mí, por apoyarme y sobre todo por ese inmenso amor que tanto me inspiró a seguir adelante.

A mi padre, por su guía y su confianza, por todo su cariño y ayuda.

A mis hermanos, por su amor, cariño y por estar ahí para mí.

A mi novio Alejandro Pérez Hernández por todo su apoyo y amor.

A toda mi familia por su apoyo incondicional y todo el amor que me brindaron.

A mi tutor por sus orientaciones precisas y su ayuda incondicional.

Agradecimientos.

Mis más sinceros agradecimientos:

A mi novio Alejandro Pérez Hernández por todo su apoyo y ayuda incondicional.

A todos los trabajadores de la UBPC-3.

Al Ing. Andrés Pérez Corra por la atención y la ayuda que me ofreció en todo momento.

A José Ramón y Lizet por su apoyo y confianza en mí.

Al regador del campo 330 por toda su ayuda en el trabajo diario.

A mi familia que me apoyaron en todo momento.

De manera general a todas aquellas personas que me ayudaron durante el desarrollo del presente trabajo de diploma.

A mis profesores y a la institución.

A todos muchas gracias.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue realizar una programación del riego mediante métodos agrometeorológicos, para determinar la influencia en el ahorro de agua, energía y los rendimientos del cultivo, pues la misma se realizaba en ocasiones sin rigor técnico, para ello, se calculó la Evapotranspiración de Referencia mediante la fórmula de Penman-Monteith con datos de una Estación Agrometeorológica cercana y se usaron coeficientes K_c ajustados por los autores para cada decena del cultivo. Se chequeó la tensión de humedad del suelo, mediante lecturas diarias de tensiómetros ubicados en el campo. Fue monitoreada la máquina de riego de pivote del campo 330 de la UBPC # 3 "Jesús Menéndez" pertenecientes a la Empresa Agropecuaria, "Valle del Yabú". Se demostró que con una programación correcta de la actividad de riego se pudieron minimizar los costos de energía (Ce) en: \$ 913 MN y de agua en: \$ 194 MN ajustándose a lo calculado en el balance de humedad en el suelo, se logran satisfacer las necesidades del cultivo, en sus diferentes fases, lo cual, modifica la práctica en la mencionada UBPC y permite la realización adecuada de las labores de cultivos y labores fitosanitarias, sin atasques de las máquinas por excesivo número de vueltas. El rendimiento obtenido como promedio de la máquina fue de $39,40 \text{ t ha}^{-1}$ de tubérculos comerciales y la lámina media total de riego para el ciclo vegetativo fue de 464,99 mm, el bajo aprovechamiento de la lluvia fue de 18% de 92 mm precipitados y se aplicaron 14 riegos.

ÍNDICE

1. Introducción	1
Problema Científico:.....	2
Hipótesis.....	2
Objetivo General.....	2
Objetivos específicos.....	2
2. Revisión Bibliográfica	3
2.1. Cultivo de la papa y consumo de agua.....	3
2.2. Lamina de agua	3
2.3. Ahorro de agua y energía en la agricultura.....	4
2.4. Manejo del riego en el cultivo de la papa	5
2.5. Máquinas de pivote central eléctricas	6
2.6. Funcionamiento del tensiómetro para el riego	6
2.7. Relacion agua-rendimiento	7
2.8. Coeficiente de uniformidad.....	8
3. Materias y métodos	9
3.1. Comportamiento de las variables climáticas.....	9
3.3. Evaluación pluviométrica.....	10
3.4. Manejo del agua en el cultivo de la papa	12
3.5. Medicion de la tensión de humedad	12
3.6. Consumo energetico del sistema de riego.....	13
3.6.1. Análisis económico	14
3.7. Evaluacion del rendimiento agrícola del cultivo.....	15
4. Resultados y discusión	16
4.3. Evaluación pluviométrica.....	16
4.4. El Balance agrometeorológico	17
4.3. Tension de humedad	21
4.4. Costo de la energia y el agua.....	23
4..5. Evaluación del rendimiento agrícola	24
5. Conclusiones	25
6. Recomendaciones	26
7. Bibliografia	
8. Anexos	

INTRODUCCIÓN.

Uno de los problemas que más agobia a la humanidad en la actualidad, es la falta de energía y agua para la producción agrícola, la agricultura es la mayor consumidora de agua potable en el planeta, con una cantidad estimada entre 60-70%, la búsqueda de nuevas formas para producir más alimentos con menos cantidad de agua es una respuesta al problema de la escasez de agua a nivel mundial. Esto ha motivado, que se lleven a cabo nuevas tecnologías de riego, con el objetivo de aumentar el uso racional del agua y un menor consumo energético como son: el riego localizado tanto superficial como subterráneo y las máquinas de pivote central (Camejo *et al.*, 2010). En diferentes empresas agropecuarias del país el uso de las máquinas de riego de pivote central eléctricas son una alternativa para lograr altos rendimientos, aunque el uso de las misma no sea el más adecuado y se realice aplicando normas de riegos de forma fija sin considerar las diferentes fases de desarrollo, presentando problemas con los rendimientos de los cultivos y el uso racional del agua y la energía eléctrica, (Camejo *et al.*, 2009).

En la Empresa Agropecuaria, “Valle del Yabu”, ubicada en la provincia de Villa Clara, municipio Santa Clara, hace aproximadamente 12 años se ha iniciado la instalación de máquinas de pivote central eléctricas, las cuales, han logrado un incremento en los rendimientos agrícolas. El cultivo de la papa es uno de los principales beneficiado con esta tecnología, además de ser muy apreciado por sus cualidades alimenticias, que se consume de diversas maneras presentando gran aceptación por la población cubana. La papa presenta altas producciones en un período vegetativo relativamente corto (70-90 días), siendo el principal cultivo de siembra de invierno en nuestro país. (FAO, 2009). Está demostrado que los cambios climáticos influyen en la agricultura, en el caso de la papa tiene un efecto directo en el comportamiento de los rendimientos. Las altas temperaturas a las que estamos sometidos en los tradicionales meses de invierno limitan considerablemente la fase fisiológica de tuberización en el cultivo, según reportes de los estudios agrometeorológicos en Cuba, Trabajadores, (2014). El regadío es fundamental para un país tropical, porque sirve como regulador de las temperaturas y cubre las necesidades hídricas del cultivo en una época donde las precipitaciones son mínimas y una adecuada programación de los riegos influye positivamente en los rendimientos del cultivo de la papa, en el uso racional del agua y la energía eléctrica según Pérez, (2009) y Cueto, (2011).

Bosnjak y Pejlik, 1996, afirman que para obtener buenos rendimientos y dependiendo de

las condiciones climáticas de la zona, el cultivo de la papa necesita de aproximadamente 455 milímetros de agua por temporada. La papa no posee un sistema radicular profundo, por tanto una buena planificación del riego es necesaria para obtener resultados favorables. La lámina de agua que se debe aplicar en este cultivo varía según el tipo de suelo, fase de desarrollo del cultivo y las condiciones climáticas. Para decidir el método de entrega de agua en la papa, debe evaluarse la factibilidad técnica, económica y social para su elección (Roman, 2002).

Problema científico

¿Cómo incide la programación de riego con máquinas de pivote central en el ahorro de agua, energía eléctrica y en los rendimientos del cultivo de la papa?

Hipótesis

La programación de riego con máquinas de pivote central incide favorablemente en el ahorro de agua, energía eléctrica y los rendimientos del cultivo de la papa.

Objetivo general

Evaluar la incidencia de la programación del riego en el ahorro de agua, energía eléctrica y el rendimiento del cultivo de la papa.

Objetivos específicos

1. Determinar el volumen de agua irrigado por las máquinas de pivote central en el cultivo de la papa.
2. Establecer el costo por concepto de energía eléctrica de la actividad de riego.
3. Comprobar la incidencia de la programación del riego en el rendimiento del cultivo.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Cultivo de la papa y consumo de agua.

La mayoría del agua absorbida por la planta se elimina en el proceso de la transpiración, siendo solamente una pequeña fracción de aquella (alrededor del 1 %) la que la planta emplea en sus reacciones metabólicas o en aumentar el contenido hídrico de su biomasa, a medida que ésta aumenta.

Al agricultor no le interesa tanto la cantidad de agua que puedan transpirar las plantas, sino la que tiene que aportar al cultivo para que produzca una buena cosecha. No toda el agua que el agricultor aporte al cultivo va a ser absorbida y transpirada por la planta ya que una parte de ella se evaporará directamente desde el suelo y otra se quedará fuera del alcance de las raíces de las plantas o se perderá por drenaje o escorrentía. Cuanto mejor sea la técnica de aplicación del agua de riego, menores serán estas pérdidas, que en cierta medida pueden ser controladas por el agricultor. Además, al agricultor no le suele interesar toda la biomasa producida por la planta (no suele estar preocupado por la cantidad de raíces producidas excepto en algunos cultivos específicos) sino solamente la que puede cosechar, y dentro de ésta la que tiene valor comercial (grano, por ejemplo, en el caso de cereales). Por este motivo, el significado de la “eficiencia en el uso del agua” es distinto para los agricultores que para los fisiólogos, aunque es un concepto que se maneja tanto en agronomía como en fisiología vegetal (Fernández, 2008).

Lámina de agua.

Esta depende del suelo, la planta y de las condiciones climáticas de la zona. Requiere el conocimiento de la capacidad de campo (Cc) y el punto de marchites permanente (Pmp). Es importante mencionar que la lámina debe calcularse para las condiciones específicas de la zona de producción del cultivo. Para decidir las tecnologías de riego a utilizar, debe evaluarse la perspectiva técnica y económica para su elección; sin embargo los métodos de gravedad, como en el caso de surcos rectos en suelos con pendientes no mayores del 2.5% o surcos en contorno con pendientes del orden del 5%, son factibles (Roman, 2002). En la Tabla 1 se sugieren láminas e intervalos de riego de acuerdo al tipo de suelos y al valor de la evapotranspiración de la zona de cultivo (Pérez, 2009). Esto debe tomarse como una guía, pues lo recomendable es calcular las necesidades de riego en el lugar donde se implementará dicha práctica.

Tabla 1. Lámina de riego (mm) e Intervalos de riegos (días).

Textura del suelo	Lamina de riego (mm)	Volumen de agua (m ³ .ha ⁻¹)	Evapotranspiración potencial (mm/día)		
			5	6	7
			Intervalos de riego (días)		
Arenosa	16	160	3	3	3
Franca arenosa	24	240	4	4	3
Franca	34	340	6	5	4
Franca arcillosa	37	370	7	6	5

Todo los autores revisados señalan la exigencia del cultivo al riego (intervalos menores de 10 días) y normas parciales de riego de alrededor de 25cm. En toda la bibliografía consultada se reconoce la necesidad de un cuidadoso manejo de riego, debido a que el cultivo de la papa es sensible a deficiencias y exceso de agua durante el ciclo, afectando el rendimiento y calidad de los tubérculos.

El ahorro de agua y energía en la agricultura.

La falta de agua y energía en la agricultura es uno de los temas más difundidos a nivel mundial, dado por la importancia que a éstas se le atribuye. La mayor parte de nuestros expertos están de acuerdo en reconocer que nuestros recursos naturales se verán afectados por los profundos cambios climáticos globales. El agua es quizás el primero de ellos (De Santa *et al.*, 1993), dado que la agricultura por irrigación consume la mayor parte del suministro de agua de buena calidad, la búsqueda de nuevas formas de producir más alimentos con menos cantidad de agua y con el ahorro de energía ofrece una respuesta al problema que enfrenta hoy la humanidad (IWMI, 2009). La agricultura necesita cada vez mejores métodos, más precisos para evaluar el consumo de agua por las plantas en condiciones de regadío o de secano, y al mismo tiempo, caracterizar al clima en función de conocer los valores de precipitaciones por cada zona climática (Pacheco *et al.*, 2006). En los últimos años, Cuba ha sido afectada por intensas y prolongadas sequías, debiendo adaptarse a esta situación, fundamentalmente la zona centro-oriental del país donde mayor ha sido el embate de la falta de agua. Ello ha motivado, que se generen nuevas tecnologías de riego, con el objetivo de aumentar la eficiencia en el uso del agua y un menor consumo energético como son las máquinas de pivote central eléctricas (Camejo *et al.*, 2010). Todas las metodologías que se han ideado para predecir el volumen de agua que se requiere para obtener una producción óptima y contribuir al ahorro energético en

los distintos cultivos tienen en cuenta las condiciones climáticas, agronómicas y edafológicas de una zona dada. La transferencia de metodologías de una zona a otra muy distinta de aquella en la que han sido concebidas sigue siendo problemática; a menudo se necesitan experimentos *in situ* que requieren de mucho tiempo y trabajo con objeto de someter a pruebas y calibrar los métodos en un conjunto nuevo de condiciones (Dueñas, 2006). El cuidado del recurso agua es un eje central en toda comunidad, y tomar conocimiento de la relación calidad, uso y manejo del agua no solo beneficia a los individuos en particular, sino también a la sociedad y el ecosistema en que viven. Con la intensificación de la agricultura y ganadería, el suelo ha sufrido un proceso intenso de degradación, por lo que la contaminación a gran escala de las aguas subterráneas y superficiales ha ido en ascenso, el uso excesivo o inadecuado ha producido salinización o anegamiento (Herrero, 2000). El agua es un recurso escaso y de gran valor que está estrechamente relacionado con la seguridad alimentaria y el ahorro de energía. Por lo tanto, se deberán aplicar medidas y/o tecnologías para su conservación y uso eficiente y racional para contribuir de igual manera al ahorro de energético.

Manejo del riego en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* Sw).

La papa en Cuba es un cultivo típico de regadío debido a que sus necesidades hídricas son elevadas y la época de plantación óptima coincide con inicio del período seco. El MINAGRI (1999), plantea que el período de mayor requerimiento de agua coincide con el período de intensa asimilación de nutrientes, de 30-60 días después de plantado el cultivo. Se observado que en la práctica la papa responde bien a intervalos de riego relativamente cortos (cuatro a siete días) en dependencia de las características hidrofísicas del suelo y con el uso de normas parciales correctas, el número de riegos será como mínimo de 10. Martínez-Aparicio y Nieblas (1988) plantean que en Cuba, los mayores rendimientos se obtienen cuando el riego se aplica con frecuencia de cinco días. Aun siendo la papa un cultivo que demanda en todo su ciclo vegetativo un elevado contenido de agua, se podrán disminuir los riegos en el período que antecede a los 30 a 40 días de plantación, es decir, hacia el crecimiento de los tubérculos, aumentando a partir de este momento la cantidad de riegos durante el período de crecimiento. Una vez que el tubérculo alcanza un tamaño mínimo, se podrán volver a disminuir los riegos hasta retirarlos totalmente en los últimos 10 a 15 días de fase de maduración (Fonseca, 2006).

Jeréz y Simpfendöfer (2000), informaron aumentos en los rendimientos de entre un 53.8 % a un 84.4 %, dependiendo de la variedad en estudio y el año, esto demuestra la

importancia del riego en papa. Con la aplicación del riego correctamente la planta tiene una respuesta de rendimiento aproximadamente de $0.2 \text{ tha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ de agua, lo cual lo hace muy rentable. El riego también se utiliza para prevenir enfermedades y para producir tubérculos de tamaño y calidad deseada destinados para un uso específico (Andrew, 2000).

Máquinas de riego de pivote central eléctricas.

Las máquinas de pivote central están entre los sistemas de riego más difundidos a nivel mundial. Ellas han hecho fácil y eficaz el riego en muchas áreas donde otros métodos de irrigación no son eficientes. Se pueden aplicar riegos más frecuente y cubrir mejor los requerimientos de agua de los cultivos y así permite un uso racional del recurso agua y contribuye al ahorro energético, estos sistemas se han perfeccionado mucho en la actualidad. Son mecánicamente muy fiables y simples de operar, aunque, como cualquier maquinaria, el mantenimiento rutinario y sistemático es indispensable para su buen desarrollo. Estos equipos permiten un notable ahorro de agua y energía al compararse con otros sistemas como la aspersión tradicional y los pivotes de accionamiento hidráulico, Espinosa *et al.* (2010). En los últimos años el Ministerio de la Agricultura de Cuba ha desarrollado importantes inversiones para la modernización de los sistemas de riego en las cuales están incluidos con un gran interés los pivotes.

Este está formado por una tubería porta emisores que está 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 traslada el agua para ser distribuida en el suelo, normalmente es de acero galvanizado. En esta tubería se encuentran los emisores, que pueden ser de tres tipos: aspersores giratorios, boquillas difusoras y cañones de extremo. Cada tramo de tubería va unido a una torre soporte y articulado con el tramo anterior, que debe permitir el movimiento en un eje vertical y otro horizontal. El rango del valor del CUh de acuerdo con el criterio de Tarjuelo, (2005); es de que una parcela está bien regada cuando se logra un CUh entre 85 y 90%.

Funcionamiento del tensiómetro para el riego.

El uso de los tensiómetros es una de las prácticas de la agricultura moderna. La aplicación eficiente de riego requiere que se apliquen cantidades óptimas de agua y que se encuentren disponibles en el suelo cuando las plantas la necesiten. Un tensiómetro es un instrumento que indica la tensión con que el agua está retenida por las partículas del

suelo. Es uno de los métodos usados para indicar, en forma relativa, si en el suelo existe suficiente humedad disponible para el crecimiento de las plantas. En la práctica, el tensiómetro mide los rangos de humedad de suelo bajo los cuales las raíces de las plantas absorben activamente el agua (Megh *et al.*, 2009). Es un instrumento de fácil instalación, se rellena el tensiómetro con agua destilada completamente y se coloca la cápsula porosa en un recipiente con agua destilada a un nivel que la cubra totalmente, sin la tapa superior (para saturar la cápsula) durante 24 horas. Al transportar el instrumento hay que proteger la punta de cerámica de la sequedad del aire con un paño húmedo o similar. Con una barrena se hace un hoyo de tamaño apropiado en el suelo, se introduce una porción de suelo húmedo en el fondo y se coloca el tensiómetro presionando cuidadosamente para que la cápsula mantenga el intercambio con el suelo. Se rellena con tierra alrededor para evitar encharcamientos que interfieran en las lecturas. Una vez instalado, se agrega agua destilada sólo si es necesario, para rellenar y dar ligeros golpes para extraer las burbujas de aire del interior. La lectura debe ser diaria durante el ciclo vegetativo del cultivo, a la misma hora y siempre antes del riego. Lecturas bajas de tensión indican condiciones húmedas, con agua disponible. Ekanayake, (1994) señala que en términos generales el cultivo de papas debe regarse a 0.35 bares de potencial tensiométrico del suelo para mantener un micro medio bien irrigado. Soboh *et al.* (2000) afirman que la tensión de humedad ideal para el cultivo es de 0.4 bares, o sea 40 Cb. En la práctica la diferencia entre estos dos valores (cinco Cb) resulta despreciable.

Relación agua-rendimiento.

King y Stark, (2002) señala que el riego es un factor indispensable para la producción rentable de papa. La máxima ganancia requiere entre otras cosas, de la relación agua-suelo dentro de los límites productivos. La papa es un alto consumidor de agua, superando la mayoría de las viandas. Los rendimientos de papa pueden disminuir por la falta o el exceso de agua. El exceso de agua en el suelo causa falta de oxígeno (condición anaeróbica) y si hay una reducción de 10-20 % en agua de la norma total neta a aplicar según la fase, se comienzan afectar los rendimientos. Un buen manejo del agua traería consigo mayores rendimientos y ahorro en capital, agua y energía. Al satisfacer todos los requerimientos de los cultivos en cuanto a agua se le conoce como régimen de riego biológicamente óptimo, que debe conducir a máximos rendimientos. Debido a las crecientes limitaciones de agua y el hecho de que no siempre es justificado económicamente la aplicación de un régimen biológicamente óptimo, tratando de ahorrar

importantes volúmenes de agua, Pacheco *et al.* (2006). Con ese régimen se obtienen buenos rendimientos sin desperdiciar agua, porque a la medida en que la planta llega a su óptimo desarrollo no hace falta mucha agua.

Coefficiente de uniformidad.

La uniformidad obtenida en la aplicación de agua de riego es uno de los parámetros que mejor refleja el comportamiento de los distintos sistemas de riego por aspersión. En una máquina de pivote central los pluviómetros se colocan formando un ángulo de riego con la máquina a partir del pivote. Se humedece una corona circular de tamaño diferente, por lo cual se exige que los valores en los pluviómetros sean ponderados de acuerdo con la superficie de terreno asignado a cada pluviómetro o boquilla (Pacheco, 2007). Según Montero *et al.* (2005), una parcela está bien regada cuando se consigue un coeficiente de uniformidad entre el 85 % y 90 %, con valores mayores al 90 %, la parcela está muy bien regada. En cambio con valores de coeficiente de uniformidad, menores al 80 % se considera que el pivote no riega adecuadamente. Esto coincide parcialmente con lo que dice Abelardo *et al.* (2010) que valora que cuando la máquina riega con coeficientes de uniformidad de 100% a 90% es excelente y menores de 70 % son inadecuados.

MATERIALES Y METODOS.

El presente trabajo se realizó en el campo 330 de la UBPC-3 “Jesús Menéndez” perteneciente a la E.A. “Valle del Yabu”, en el municipio de Santa Clara, provincia Villa Clara, en el período comprendido entre diciembre del 2013 a abril del 2014. La tecnología de riego empleada fue riego por aspersión mediante una máquina de pivote central eléctrica marca Western, con una longitud de 239 m que posee cuatro torres, para un área total bajo riego de 19,40 ha, de las cuales fueron plantadas 8,10 ha de papa sobre un suelo Pardo gleizoso en superficie (Hernández *et al.*, 2006), cuya capacidad de campo en base a suelo seco (ss) es de 52,7 %, y la densidad aparente es de 0,94 g/cm³. La variedad empleada en el estudio fue Atlas, procedente de Francia y se plantó el cinco de enero del 2014 de manera semimecanizada con un marco de plantación de 0,90 m x 0,30 m (papa entera) para un ciclo vegetativo corto de 90 a 100 días aproximadamente de duración.

Comportamiento de las variables climáticas.

Se realizó un análisis diario de las principales variables climáticas relacionadas con el cultivo y la actividad del riego, los datos serán tomados de la estación agrometeorológica del “Valle del Yabu”, según las observaciones de la misma.

Tabla 2. Ubicación geográfica de la estación agrometeorológica “Valle del Yabu”

Santa Clara (Yabu)	
Latitud	22.43
Longitud	79.98
Altitud	116.4 (msnm)

Se calculó en la práctica la evapotranspiración real del cultivo (Etc), usando los coeficientes de cultivo ajustados para las condiciones de la zona, según Pérez, (2009) y Camacho, (2012). Esto puede expresarse mediante la siguiente fórmula:

$$Etc=Kc*Eto..... (1)$$

En la figura 1 se presenta una combinación de las temperaturas máximas, mínimas y medias y la lluvia acumulada por decenas, en la UBPC-3 en el ciclo del cultivo. La temperatura media se comportó sobre los 22 y 23 °C aproximadamente durante toda la campaña, excepto en la segunda y tercera decena en las cuales alcanzaron valores de 20,4 y 21,3 °C., también se pudieron observar en la cuarta decena que se alcanzaron

valores sobre los 24,5 °C. En las últimas cuatro decenas los valores superaron los 22 °C, lo que indica condiciones desfavorables para la fase de engrosamiento y maduración del tubérculo. En relación a las precipitaciones durante el ciclo, hay que mencionar que estas fueron casi inapreciables hasta la quinta decena, a partir de la cual se incrementan, teniendo en cuenta que en la sexta decena alcanzaron un valor de 18,4 mm, alcanzando el máximo en la octava decena con un valor de 51,4 mm lo que equivale, de haberse aprovechado un 100 % de las mismas, a dos riegos, en la novena decena los valores de precipitaciones no sobrepasan los 10 mm lo cual es favorable para la etapa de maduración del cultivo. Debe tenerse en cuenta que las lluvias frecuentes en la etapa de maduración no son las idóneas para el cultivo.

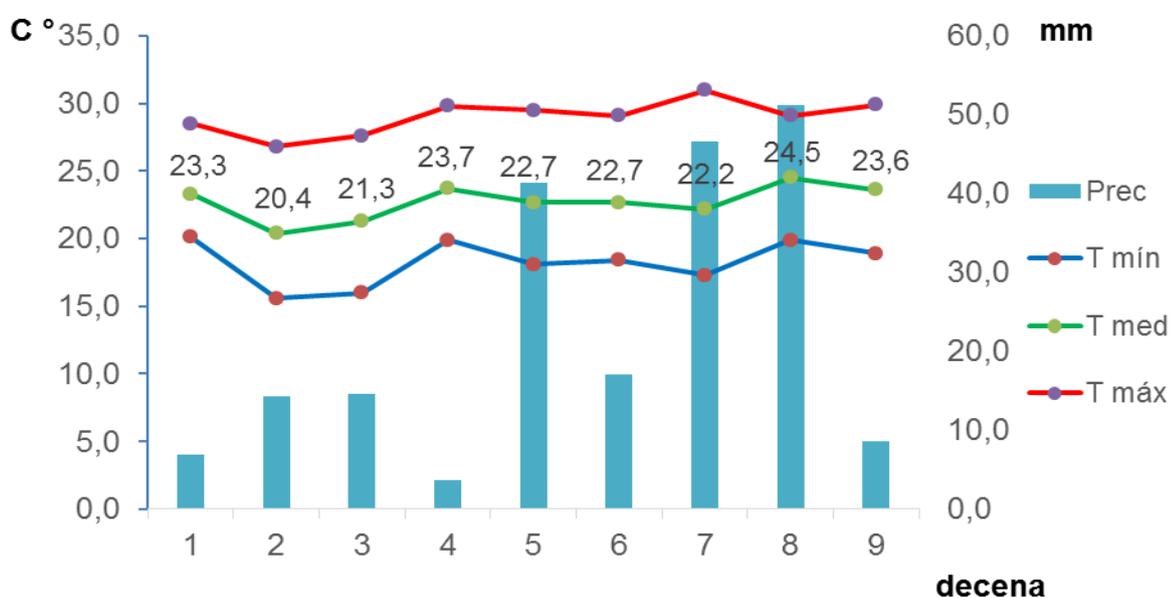


Figura 1. Variables climáticas.

Evaluación de la máquina de riego.

Se realizó una evaluación pluviométrica a la máquina de riego como se muestra en la figura 2, de acuerdo con la metodología que se establece Pacheco, (2008). Regulada al 16 % permitiendo humedecer los 25 cm de la capa activa del cultivo en el momento de la evaluación. Se ejecutó la evaluación cuando el cultivo se encontraba en la fase de engrosamiento del tubérculo. Desde la campaña de 2009-2010 esta actividad es de estricto cumplimiento en todas las áreas bajo riego de la empresa, por parte de la dirección de riego. La evaluación se efectuó en las primeras horas de la mañana para evitar la influencia negativa de vientos fuertes, los cuales pueden modificar los resultados, y con el objetivo de conocer los principales parámetros de funcionamiento de la técnica de riego.

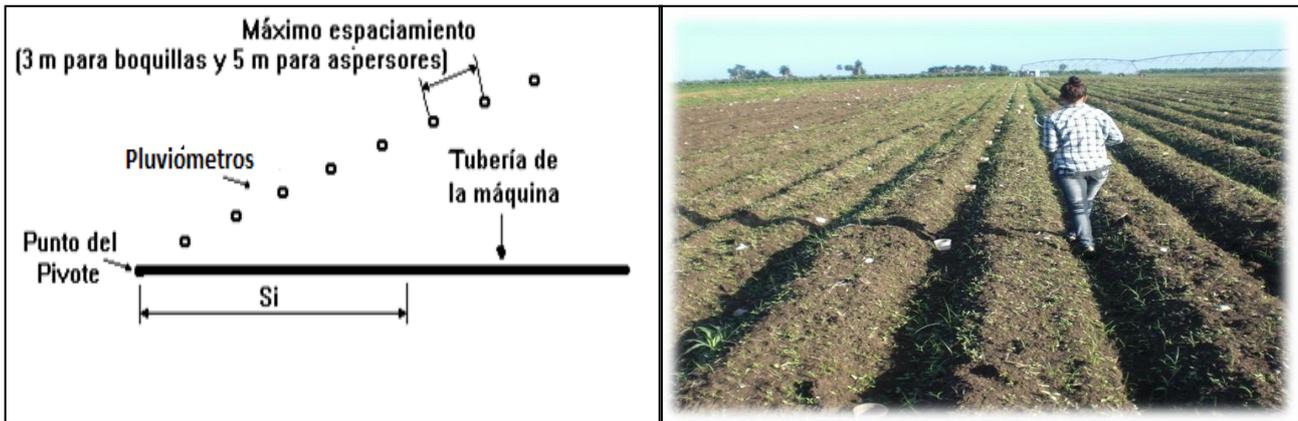


Figura 2. Esquema de la evaluación pluviométrica

Se colocó una hilera de pluviómetros (diámetro de 10,5 cm) radialmente desde el pivót hasta el extremo de la máquina, a una equidistancia de tres metros, para medir dicha distancia se empleó una cinta métrica. La pluviometría recogida se midió *in situ* con una probeta graduada de 500 ml. Se determinó la velocidad del viento promedio, utilizando un anemómetro a dos metros de altura cada 15 minutos en el transcurso de la evaluación. Los datos pluviométricos obtenidos fueron procesados por el software Pluviopivot (Pacheco, 2008), para el cálculo del Coeficiente de Uniformidad Ponderado y la lámina media de agua aplicada (figura 3). 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 ($V=S/t$).

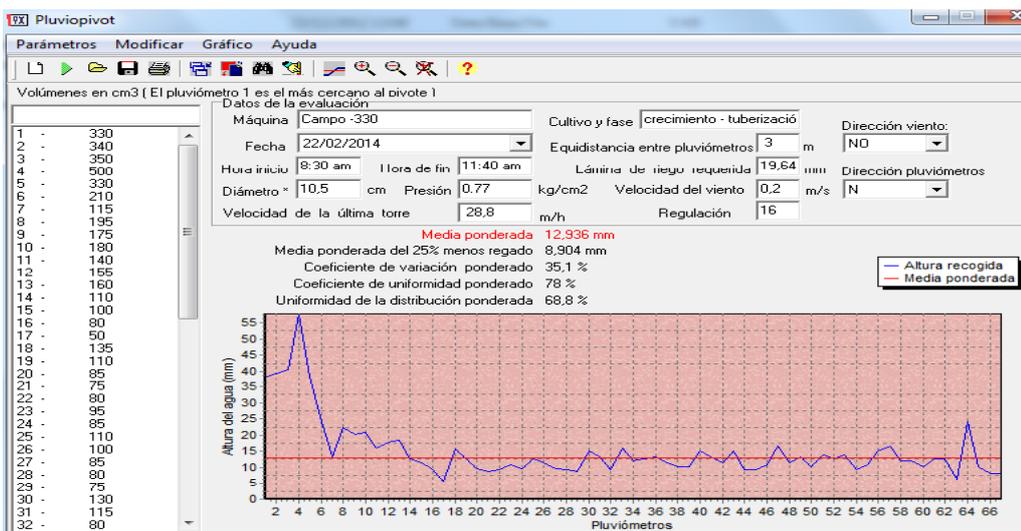


Figura 3. Ventana principal del software Pluviopivot.

Manejo del agua en el cultivo de la papa.

Para conocer las necesidades de agua para el riego, es necesario conocer las necesidades hídricas del cultivo y la cantidad de lluvia disponible y aprovechable por el suelo y el cultivo. Por lo que se realizó un balance hídrico agrometeorológico según la metodología propuesta por (Pacheco, 2008), como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Modelo de balance hídrico agrometeorológico diario.

Mes: _____

Cap. Campo del Suelo (CC) _____ Densidad aparente del suelo (Da) _____

Cultivo _____ Entidad administrativa _____

Variedad _____ Eficiencia de riego de la máquina (%) _____

W máx = 10.H. Da .CC (mm) Límite mínimo de humedad (% CC) _____

Fecha de siembra o plantación _____ Nombre de la máquina de riego _____

Día	Eto (mm)	Kc	Etc (mm)	H (m)	Wmax (mm)	Wp (mm)	Pc (mm)	Pa (mm)	Pna (mm)	Dfp (mm)	Dfmax (mm)	FR xx	Regulación %-mm neto
1													
2													

$$W_{max} = 10 \cdot H \cdot Da \cdot CC \text{ (mm)} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

H- Capa activa de suelo (m)

Da- Densidad aparente del suelo (g/cm³)

CC- Capacidad de campo del suelo (% de peso de suelo seco)

$$W_{p_n} = W_{p_{n-1}} + Pa + R - Etc \text{ (mm)} \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

W_{p_n}- Reserva de agua presente el día n (mm)

W_{p_{n-1}}- Reserva de agua presente el día n-1 (mm)

R- Lámina de riego neta aplicada en el campo (mm)

Pa- Precipitación aprovechado (mm)

Etc- Evapotranspiración del cultivo (mm).

Medición de la tensión de humedad en el suelo.

La tensión de humedad del suelo se determinó a partir del 15 de enero de 2014 en el campo 330 de la UBPC-3 mediante el método de la observación, para lo cual se instalaron tres tensiómetros (figura 4), colocados a una profundidad de 25 cm (para decidir el momento del riego). Antes de su instalación se prepararon según la metodología descrita por (Megh, 2009), utilizando agua hervida con detergente para su lavado como parte de la preparación previa a su colocación bajo las condiciones de campo. Para evitar que el aire disuelto interfiriera en la lectura y evitar el crecimiento de algas, bacterias y otros organismos dentro del tensiómetro. Se abrieron hoyos en el perfil del suelo, empleando una barrena agrológica marcada a las profundidades deseadas, y se preparó una mezcla de agua y tierra, la cual, se añadió a la base de los tensiómetros después de colocarlos en los hoyos correspondientes para que las cápsulas porosas tuvieran un buen intercambio con el suelo. Según la metodología de Soboh *et al.* (2000) y los estudios realizados por Pérez (2009) y Job (2010), en las condiciones de E.A. “Valle del Yabu”, se estableció que debe regarse la papa a tensiones de 40-50 Cb. Los tensiómetros monitoreaban el primer y el segundo cuadrante del área de la máquina de riego, las indicaciones de inicio del riego se realizaban teniendo en cuenta que la máquina siempre comienza por el primer cuadrante.

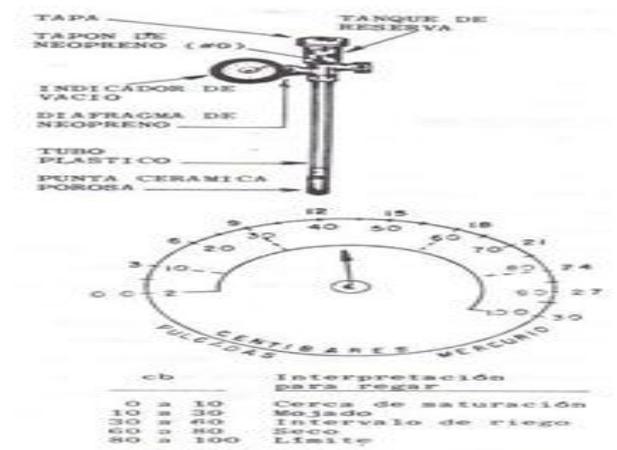


Figura 4. Instalación del tensiómetro.

Consumo energético del sistema de riego.

Se realizó el cálculo energético de sistema de riego y el análisis económico de la energía eléctrica y agua consumida en la campaña de papa. Se determinó la potencia demandada por la bomba (N), *in situ* de forma directa con el empleo del amperímetro de gancho figura

5. Se tomaron 6 lecturas por cada fase eléctrica durante la actividad de riego para monitorear la variación de la intensidad de la corriente (I), el valor de N se determinó según la fórmula 1.

$$N = I \cdot V / Fp \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

N: potencia, Kw/h;

I: corriente, A;

V: voltaje, Volt;

Fp: factor de potencia.

$$I = (I1 + I2 + I3)/3.$$



Figura 5. Amperímetro de gancho modelo (07564 CMI-100 GREENLEE).

- Energía consumida por máquinas

$$E = N + (1,5 n Tr) \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

E: energía absorbida por la máquina de pivote central, kWh;

n: número de motorreductores.

Tr: Tiempo de riego total del cultivo, h.

Análisis económico

- Costo total de la energía consumida por máquina

$$Ce = Pe E \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

Ce: costo total de la energía consumida por máquinas, peso;

Pe: precio de la energía por cada kW; que es de \$ 0,24, según el Ministerio de Finanzas y Precios.

Costo del agua extraída

$$Ca = Apr Pa \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

Ca: agua total aplicada en el riego, m³.

Apr: agua total aplicada en el riego, m³.

Pa: precio del agua por cada mil metro cúbico que es de \$ 0,90 según el Ministerio de Finanzas y Precios.

Evaluación de los componentes de rendimiento del cultivo.

Se realizó la evaluación de los principales componentes de rendimiento agrícola del cultivo, seleccionando en el primer cuadrante de la máquina de riego que ocupa un área de 4,5 ha, delimitándose en cada uno de los tramos de la máquina una parcela de 3,6 m de ancho por 40 m de largo (144 m²), como se muestra en la figura 6. Teniendo en cuenta que la actividad del riego comienza por el primer cuadrante de la máquina.

En el momento de la brotación y la cosecha se analizaron los siguientes componentes de rendimiento.

- % de población.
- Número de tubérculos por planta.
- Número de tallos por planta.
- Rendimiento por tratamiento.
- Masa seca de los tubérculos.

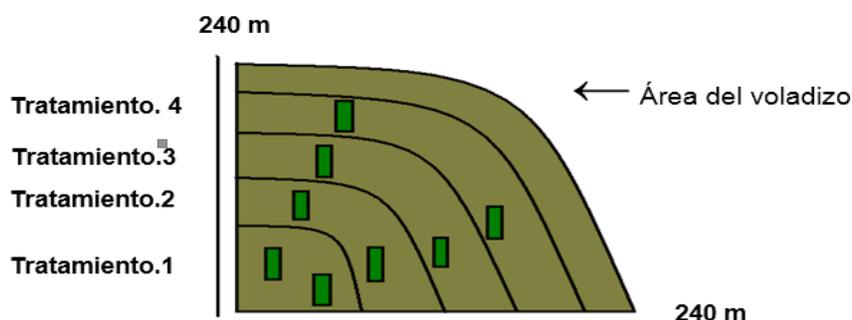


Figura 6. Esquema de los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Evaluación pluviométrica.

Los resultados obtenidos a partir de la evaluación pluviométrica realizada (tabla 4) indican que la máquina, presentó un Coeficiente de Uniformidad Ponderado (CUP) en la actividad de riego del 78%, evaluada de regular según Montero *et al.* (2005). Resultados semejantes fueron obtenidos por Cueto (2011) y Machado (2012), quienes determinaron un CUP de 75,4 % y 76%, pero difieren de los descritos por Pérez (2009) y Job (2010), cuyos valores fueron 84,5 % y 87,6 % respectivamente. La máquina aplicó una media ponderada de 12,93 mm, para una lámina requerida según el fabricante de 19,64 mm, lo que representa un 33,86 % menos de agua aplicada, resultados que difieren con los reportados por Job (2010) y Pérez (2009) demostrando la necesidad de evaluar pluviométricamente la tecnología de riego para corregir los problemas técnicos y alcanzar un adecuado coeficiente de uniformidad.

Tabla 4. Evaluación pluviométrica de la máquina Western de la UBPC-3

Parámetros de la evaluación	UBPC-3
Lámina de agua requerida según el fabricante de la máquina (mm)	19,64 mm
Regulación de la máquina (%)	16 %
Lámina Media Ponderada Aplicada (mm)	12,936 mm
Coeficiente de Uniformidad Ponderado (%)	78 %

Durante la realización de esta evaluación se detectó que la distribución de las boquillas en las cuatro torres no era la correcta según lo establecido en la carta técnica del fabricante, lo cual influye negativamente en la distribución homogénea del agua sobre la superficie del suelo, en el primer tramo de la máquina a partir del pivote, las boquillas aplican mucha agua, esto está dado por un sobredimensionamiento de los emisores al principio de la primera torre (Figura 7). Se observó además que el primer aspersor de la máquina no se encontraban habilitado para regar, por estar cercano al pivote, donde no existe cultivo que se beneficie con esta actividad; el tercer aspersor de la tercera torre estaba tupido y no

hacia una distribución uniforme del agua. La presión de trabajo de la máquina presento problemas con la presión de trabajo, con solo 1,2 bar, esto no coincide con la recomendada en la carta del fabricante de (1,9 bar factores principales que influyen negativamente en la uniformidad del riego. Estos resultados coinciden con Machado (2012) y Treyer (2013), quienes detectaron el mismo problema, y situaciones como esta revelaron las evaluaciones realizadas por parte de la dirección de riego de la E.A. “Valle del Yabu”, no solo en esta máquina sino también en las demás máquinas de la empresa.

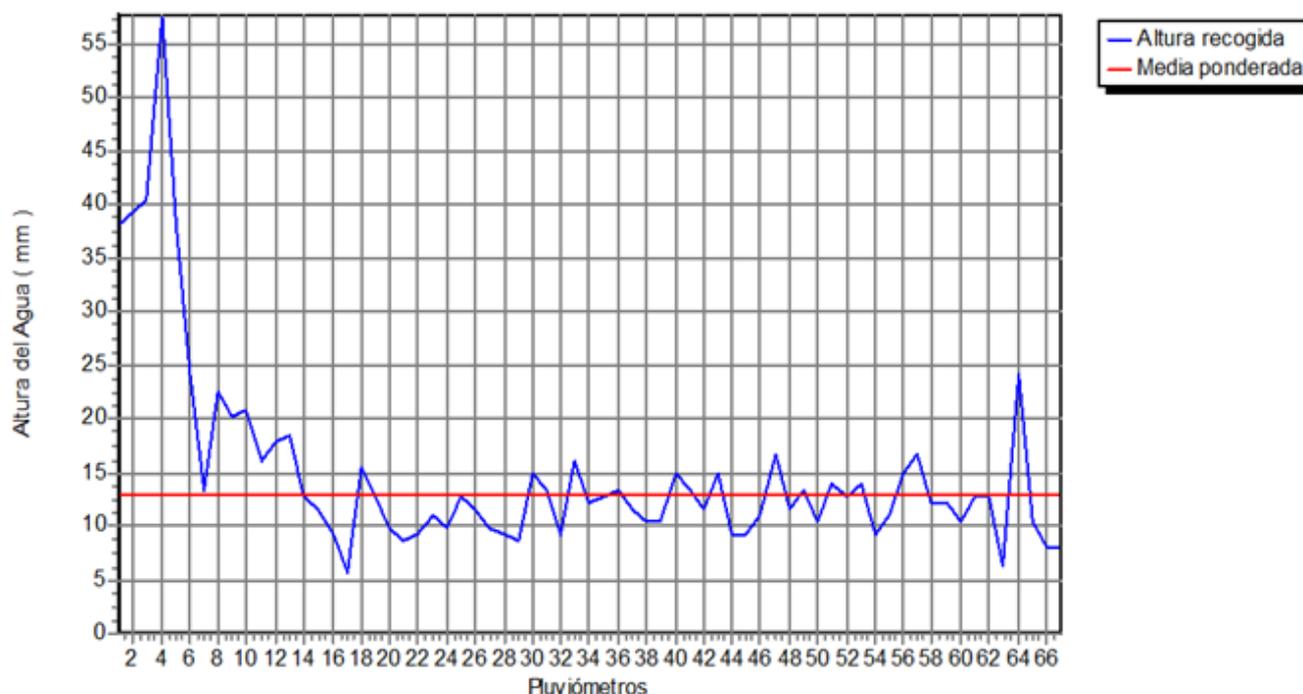


Figura 7. Evaluación pluviométrica de la máquina.

La velocidad media del viento en el transcurso de la evaluación fue baja, no superó un m/s. A pesar de las deficiencias encontradas durante la evaluación pluviométrica de la máquina, esta presenta un coeficiente de uniformidad regular, y la lámina requerida según el regador se diferencia significativamente de la media ponderada que ofrece el software Pluviopivot Pacheco, (2008), esto puede estar dado por los problemas que presenta la máquina encontrados durante la evaluación (Anexo 1).

Manejo del agua en el cultivo de la papa. Balance agrometeorológico

El cálculo del balance hídrico (Anexo 3) se comenzó en el mes de enero, a partir del riego efectuado el día 15 con regulación de la máquina 20 %, que aporta al suelo una Norma parcial neta (Npn) de 18,42 mm de agua, suficiente para llevar el suelo a capacidad de campo y lograr fijar el herbicida pre emergente Merlin. El día 16 del mismo mes se

determinó que el cultivo había culminado la fase de plantación-brotación y por consiguiente se incrementa la capa activa del suelo hasta los 25 cm de profundidad (Job, 2010), calculándose los parámetros de reserva de agua presente y el déficit hídrico presente y máximo en el suelo para este incremento. El día 22 tiene lugar el segundo riego, este se adelanta dos días a la predicción del balance hídrico; pero es efectivo en ese momento porque aporta 19,64 mm de agua y el déficit hídrico presente en el suelo era de 17,11 mm, quedando en exceso 2,45 mm de agua, consumido por el cultivo en la evapotranspiración (2,81) ese día. Diferencias de hasta cinco mm (déficit o exceso), no son consideradas en el balance hídrico en condiciones de campo (Pacheco, 2008). El día 25 del propio mes se realiza el tercer riego, este se adelanta cuatro días al balance hídrico, siendo innecesario ya que aporta 18,42 mm de agua, donde el déficit hídrico presente en el suelo era de 5,46 mm y el máximo para efectuar el riego es de 24,70, quedando un exceso de 12,96 mm de agua en el suelo, teniendo en cuenta que el cultivo ese día evapotranspira 3,08 mm, se desaprovecharon 9,88 mm de agua.

En el mes de febrero se realizaron seis riegos, dos de ellos con la regulación porcentual de la máquina al 13%, que permitió aplicar la norma parcial neta necesaria para llevar el suelo capacidad de campo, en un intervalo promedio de cinco días, estos dos riegos se efectuaron acorde a la predicción del balance hídrico, también se aplicó un riego el día 22 con una regulación porcentual de la máquina al 12% aportándole al suelo 30,70 mm de agua, siendo efectivo, el suelo presentaba un déficit hídrico de 27,62 mm quedando un exceso de 3,08 mm, lo cual no es representativo, este riego se realizó acorde a lo establecido en la programación del riego, esperando los días necesarios para realizarlo, cubriendo las necesidades hídricas del cultivo. El día ocho del presente mes se realiza un riego con una regulación de 9% para una lámina de agua con 40,93 mm. El déficit hídrico presente en el suelo era de 16,06 mm y este mismo día se precipitaron 44 mm de lluvia donde no hubo aprovechamiento alguno y creó un estado de sobresaturación en el suelo. El exceso de humedad en el suelo limita el abastecimiento de oxígeno para las raíces y facilita el ataque de hongos del suelo (Rodríguez, 2002). El día 13 de febrero se encontraron en el segundo cuadrante de la máquina plantas infectadas por enfermedades fungosas (*Phytophthora infestans*) esta enfermedad es considerada como la más destructiva y peligrosa en el cultivo de la papa. El desarrollo de la enfermedad esta favorecido por humedad elevada (lluvia, riego y humedad relativa mayor de 90%) y por temperaturas moderadas, entre 17 y 25 °C, siendo la optima de 19 a 22 °C, condiciones existentes en el campo debido al mal manejo de riego efectuado cinco días antes de que

las plantas mostraran los primeros síntomas de la enfermedad. El día 25 y 27 de febrero se efectuaron 2 riegos al 35% con láminas pequeñas considerados como inadecuados según el balance agrometeorológico, estos riegos fueron aplicados por indicaciones por la dirección de la UBPC con el objetivo de fijar una mezcla de fungicidas Ridomil + Maucozeb para el control de enfermedades fungosas, actividad que podían realizar como parte del riego. El día 11 de febrero se daba por terminada la fase de crecimiento-tuberización, en estos momentos el cultivo tenía 38 días de plantado.

Durante el mes de marzo se efectuaron cinco riegos, dos de ellos con la regulación porcentual de la máquina en 13 % los cuales fueron efectivos aplicando 28,3 mm de agua, necesarios para cubrir las necesidades hídricas del cultivo y acordes a lo planificado en el balance hídrico, también el 18 y el 24 de marzo se realizaron dos riegos con regulación del 12% que aplica 30,70 mm de agua suficientes para llevar el suelo a capacidad de campo y así cubrir las exigencias de agua del cultivo, estos fueron efectivos y realizados según el balance hídrico. También el día tres de marzo se realizó un riego con la regulación porcentual de la máquina al 16 % que aplica 19,64 mm suficiente para llevar el suelo a capacidad de campo, siendo este efectivo. Para la obtención de altos rendimientos en papa el porcentaje de agua disponible en el suelo debe mantenerse en un 70 % durante el desarrollo del cultivo (Soboh *et al.*, 2000).

Los tensiómetros no reflejan altos valores de tensión de humedad, solamente cuando el tensiómetro marcaba los 40 Cb indicando el comienzo de la actividad de riego, debido a que a la profundidad en que se encontraban ubicados, la cápsula porosa lograba intercambiar satisfactoriamente con el suelo.

En la campaña 2013-2014 en la UBPC-3, se realizaron 14 riegos sin contar el mine, (tabla 5). El intervalo de riego promedio en el ciclo fue de cinco días el cual es considerado de bueno según MINAGRI (1999), el cual refiere que en la práctica el cultivo responde bien a intervalos de riego cortos entre cuatro y siete días, teniendo en cuenta las características del suelo y el uso de normas parciales adecuadas.

Podemos observar que de los 14 riegos que se efectuaron durante todo el ciclo vegetativo del cultivo, seis de ellos, lo que representa el 42,85 %, fueron efectuados momentos antes de lo establecido en el balance agrometeorológico. Para un adecuado manejo económico de la actividad del riego es necesario llevar el suelo a capacidad (cc) y esperar a que consuma aproximadamente el 85% de la misma, estado de humedad en el suelo que se conoce como límite productivo, Pacheco *et al.* (1995). El método de balance

agrometeorológico ayuda a decidir cuándo y cuánta agua aplicar a los cultivos, reduce el número de vueltas innecesarias de la máquina ahorrando energía y agua.

Tabla 5. Riegos y regulación porcentual de la máquina Western de la UBPC-3.

No. de riego	Fecha de la actividad	Intervalo de riego (días)	Regulación de la Máquina (%)	Fase fenológica
1	15-01-14	-	20	Plantación-brotación
2	22-01-14	8	16	Crecimiento-tuberización
3	25-01-14	3	20	
4	03-02-14	9	13	
5	08-02-14	5	9	
6	15-02-14	7	13	Engrosamiento del
7	22-02-14	7	12	tubérculo
8	25-02-14	3	35	
9	27-02-14	2	35	
10	03-03-14	4	16	
11	08-03-14	5	13	
12	13-03-14	5	13	
13	18-03-14	5	12	
14	24-03-14	6	12	Maduración

La tabla 6 muestra el valor total y medio por mes de la evapotranspiración del cultivo, la lluvia caída y aprovechada, y la Norma total neta (Ntn) aplicada en la campaña 2013- 2014 al cultivo de la papa variedad Atlas, siendo el mes de marzo donde se registra el valor más alto de consumo de agua por el cultivo (Etc) total y promedio, con 144,04 mm y 4,96 mm respectivamente. En este momento el cultivo tenía 83 días de plantado, y se encontraba listo para ser cosechado, y fue necesario aplicar una Ntn=136,42 mm por concepto de riego.

El valor total de la evapotranspiración del cultivo en el ciclo fue de 311,93 mm para una Ntn de 371,9 mm. Durante el período en estudio se registró una precipitación de 92,6 mm, si se comparan con la campaña anterior en la que se reportaron 98,7 mm según Treyer (2013), estas representan el 9,38 % lo cual no es representativo, sin embargo de los 92,6 mm de lluvia caída solo se aprovecharon 17,75 mm, lo que representa un bajo porcentaje de aprovechamiento solamente el 19,16 % se aprovechó.

Tabla 6. Valores de los ingresos y egresos de agua en el suelo en la campaña 2013-2014.

Mes	Etc	Promedio	Lluvia caída (mm)	Lluvia aprov. (mm)	Ntn del ciclo (mm)
Enero	51,7	3,0	26,3	17,75	178,4
Febrero	123,81	4,40	57,8	0	149,29
Marzo	144,04	4,96	8,5	0	136,42
TOTAL	319,55	4,12	92,6	17,75	464,11

Tensión de humedad

Los valores de tensión de humedad en la campaña de papa para el mes de enero (figura 8), muestran que el 54,54 % de las tensiones eran bajas, en los cuales se registraron valores hasta 15 Cb sin exceder este. En los días 20, 22, 24 y 30 las tensiones se mantenían por encima de los 20 Cb para un 36,36 %. El riego que se realizó el 15 de dicho mes fue efectivo y llevó el suelo a capacidad de campo, este se aplicó cuando los tensiómetros marcaban los 40 Cb de acuerdo con lo planificado en el balance agrometeorológico, teniendo en cuenta que el cultivo de la papa debe regarse cuando los tensiómetros marcan lecturas entre los 40-50 Cb para condiciones de la E.A. “Valle del Yabu” según lo planteado por Pérez (2009) y Job (2010).

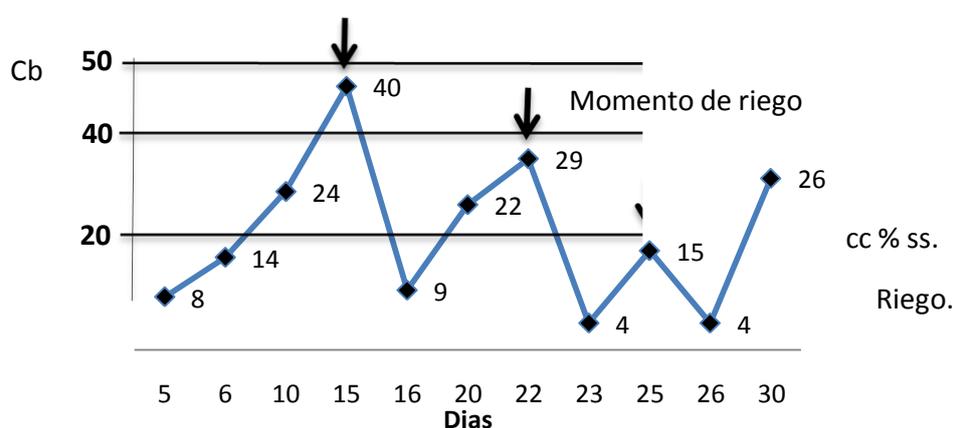


Figura 8. Lectura de los tensiómetros en el mes de enero.

En el mes de febrero se demuestra la efectividad de la actividad de riego (figura 9). Los riegos efectuados los días 3, 15 y 22 corresponden con las lecturas en el momento de

riego según los tensiómetros y los trabajos de tensión de humedad realizados por Job (2010) y Machado (2012). Después del riego y la lluvia del día ocho las tensiones se encontraban en lecturas de saturación de humedad, por debajo de los 10 Cb, incluyendo los días 25 y 27.

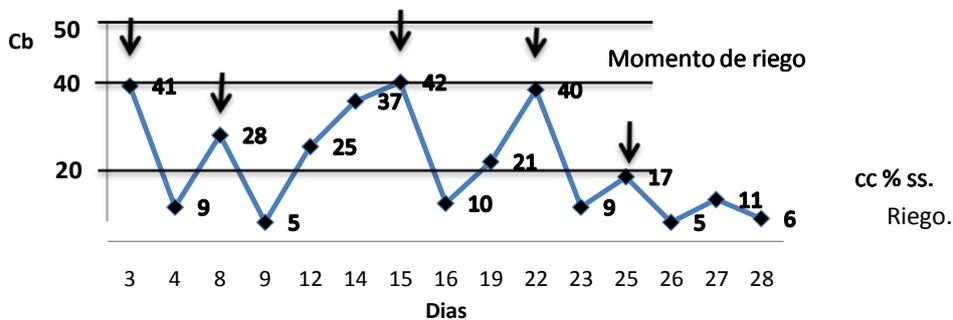


Figura 9. Lectura de los tensiómetros en el mes de febrero

En el mes de marzo las tensiones de humedad en el suelo coinciden en cuanto al momento de riego en un 80% según la programación del riego figura 10, esto demuestra la fiabilidad del balance hídrico para decidir cuándo y cuánta agua aplicar al cultivo. La papa es sensible al déficit de agua por lo que ésta no debe agotarse más de un 30 a 35 % del total disponible en el suelo (Roman, 2002). Cuando comienza la fase de maduración y según lo planteado por Fonseca (2006), los requerimientos de agua en esta etapa son mínimos, pudiendo llegar a restringirse los riegos. El tensiómetro demostró ser un instrumento fiable para determinar el momento en que debe regarse; calibrando estos según el tipo de suelo y la localidad.

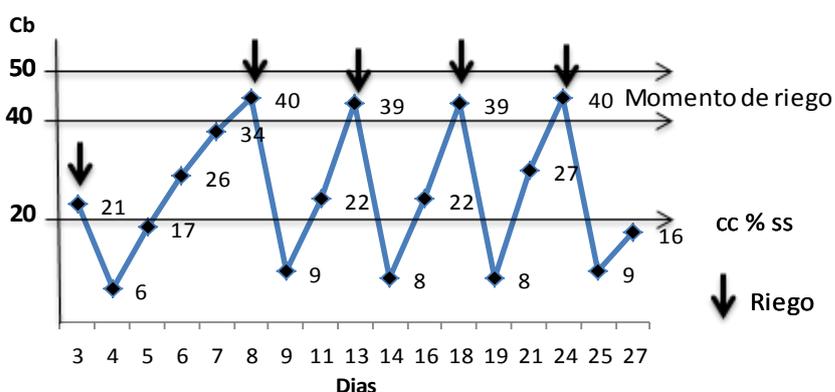


Figura 10. Lectura de los tensiómetros en el mes de marzo.

Costo de la energía y el agua.

En la tabla 7, se muestran las mediciones realizadas con el amperímetro de gancho en la estación de bombeo, para determinar la variación de la intensidad de corriente (A), según la actividad de riego del día 18 de marzo del 2014. Según el promedio de variación de la intensidad de corriente en una hora de evaluación, se determinó la potencia demandada por la bomba, fórmula (1). El resultado fue de 9,23 Kwh. El factor de potencia utilizado en la evaluación fue de 0,71 recomendado por especialistas en la UEB de la E.A. "Valle del Yabu" para un voltaje de operación del sistema de 440 volt.

Tabla 7. Mediciones del amperaje en la entrada de la Bomba.

Fases	Medición	Medición	Medición	Medición	Medición	Medición	Promedio
	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	
1	14,7	14,5	14,2	14,5	14,3	14,8	14,5
2	14,7	15,0	14,8	14,6	14,9	14,8	14,8
3	15,4	15,6	15,2	15,5	15,4	15,3	15,4
						Promedio	14,9

Los resultados de consumo y costo, de agua y energía consumida por la máquina aparecen en la tabla 8, según la actividad de riego real y la programada por el balance agrometeorológico.

Tabla 8. Consumo y costo de agua y energía.

Variable	Valores reales	Valores ideales
E (Kwh)	3113,21	2200,19
Ce (\$)	747,1704	528,0456
Ca (\$)	1129,93	934,99

Se determinó la energía consumida por la máquina en la actividad de riego para una área de 8,10 ha, tabla 8. El costo de energía y agua extraída es mayor en la práctica que lo establecido por el balance hídrico de la máquina, se pudo disminuir el consumo energético ahorrando 912,02 Kwh un equivalente a 219,13 pesos MN.

Evaluación del rendimiento.

La actual cosecha de papa 2014 arrojó un rendimiento de 39,4 t ha⁻¹, según lo pesado por Acopio del campo 330 de la UBPC 3, en la E.A del Yabu. Rendimiento que supera la media histórica del Yabu en la última década papera y superior a los rendimientos de la pasada campaña. La cosecha comenzó el 30 de marzo, seis días después de haber comenzado la fase de maduración del tubérculo y para conocer el incremento de la materia seca se evaluó la misma al inicio de la maduración y en el momento de la recogida según, (Vázquez, 1995).

El tratamiento dos muestra un aumento progresivo del contenido de materia seca comparado con el tratamiento uno, lugar donde las condiciones de la actividad de riego son adecuadas, figura 11.

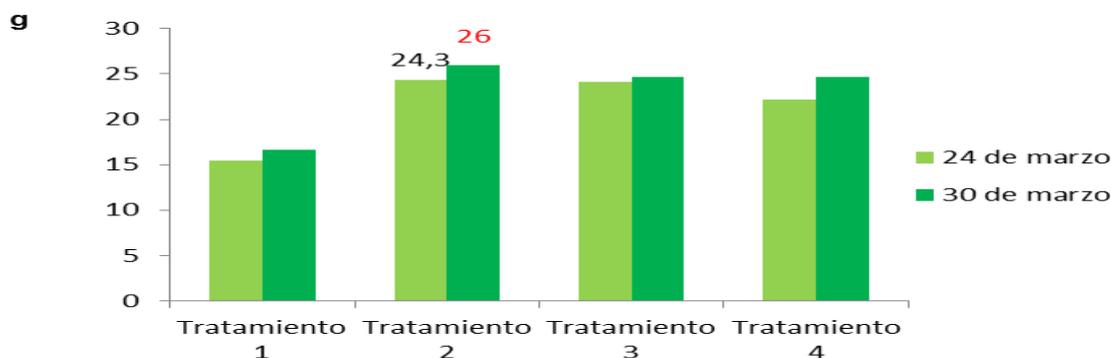


Figura 11. Determinación de materia seca en la fase de maduración.

Las temperaturas adecuadas para la formación y desarrollo de los tubérculos están entre los 18 y 22 °C según López *et al.* (1995). La condiciones climáticas de la campaña 2014 no es la adecuada para la tuberización, donde las temperaturas estuvieron por encima de los 22 °C, teniendo en cuenta que las altas temperaturas altas estimulan la producción de follaje. El tratamiento dos presentó un promedio de tres tallos con una media de 18 tubérculos por plantas, figura 12.

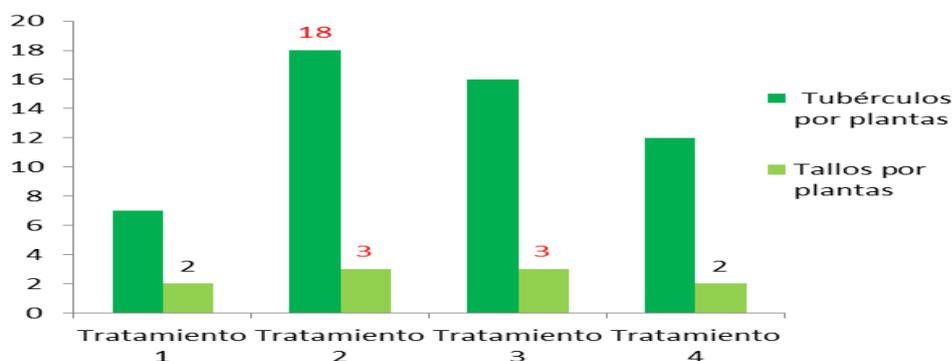


Figura 12. Número promedio de tallos y tubérculos por plantas.

La figura 13 muestra el peso promedio por tratamiento de los tubérculos cosechados para conocer los estimados de rendimientos por tramo de la máquina de riego (tratamientos). Es significativo que los tratamientos dos y tres son los de mejor rendimiento con un pesaje de 50 t ha⁻¹ y un 95 % de población (tratamiento 2). La importancia un adecuado manejo del riego para el cultivo de la papa ha sido demostrada por algunos autores, Machado, (2012), para estas mismas condiciones de suelo y clima. El cultivo produce aproximadamente 2,35 t ha⁻¹ de tubérculos por cada 28 mm de agua usados por la planta en el momento de riego, asumiendo 15 % de pérdidas durante la aplicación, considerándose rentable.

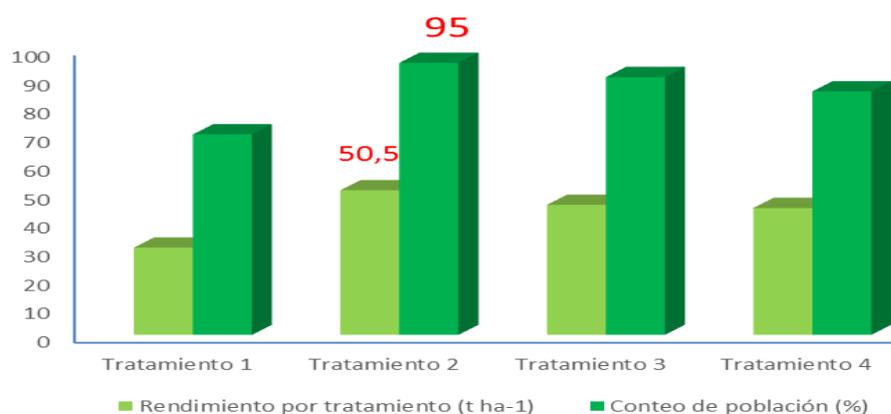


Figura 13. Rendimiento y conteo de población por tratamiento.

CONCLUSIONES

1. La evaluación pluviométrica realizada a la máquina indica una lámina media de 12,93 mm con un CUP regular de 78 %.
2. Se efectuaron 14 riegos, 10 de ellos efectivos en el momento y la cantidad de agua aplicada con una Ntn=464,99 mm de agua, con un costo de \$ 1129,93 MN.
3. El costo de la energía arribó un monto de \$3113,21 MN, con un gasto innecesario de \$913,02 MN, en la actividad de riego.
4. Los mejores resultados obtenidos en los indicadores de rendimiento fueron en el tratamiento dos, con un 95 % de población, tres tallos y 18 tubérculos promedios por plantas.
5. El rendimiento obtenido por la UBPC-3 supera los valores históricos medios de la E.A. "Valle del Yabu" con un total de 39,40 t ha⁻¹.

RECOMENDACIONES

1. Ajustar la presión de la máquina de riego según la carta técnica.
2. Aplicar los riegos según lo programado por el método agrometeorológico.
3. Cosechar el cultivo después de culminada la fase de maduración.

BIBLIOGRAFIA

1. Abelardo V. P. y Alexis V. F. (2010) Determinación del Coeficiente de Uniformidad de Riego Instituto de Investigaciones Agropecuarias, centro de investigación especializado en agricultura del desierto y altiplano (cie), INIA URURI, región de África y Parinacota. Ministerio de Agricultura. Informativo N° 17, Mayo de 2010.
2. Andrew, F. (2000). Potatoes Irrigation. Disponible en: http://www2.larioja.org/pls/dad_user/G04.texto_integro?p_cdi_accn=1290-130756 [Consultado 17-01-2014].
3. Bosnjak, D. y Pejik, B. (1996). Potatoes water requirement in the Chernozem zone of Yugoslavia. Acta Horticulturae, Leuven, [en línea]: documento electrónico fuente en internet. V.1, n.449. pp 211–215 Disponible en: http://www.actahort.org/books/449/449_29.htm[fecha de consulta: 10-02-14]
4. Camacho, S. (2012) Programación del riego para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* SW.) con la variedad Daifla, en el campo-3, de la UBPC-1, perteneciente a la Empresa Agropecuaria "Valle del Yabú".
5. Camejo, L.E.; Duarte, L.; Companioni, J.L.; Paneque, P. (2010). Tecnología de riego y fertirrigación en ambientes controlados. *Revista Ciencias. Técnica s. Agropecuarias* Vol. (19) No 1. Editorial Council. p 79-84.
6. Cueto G.Y. (2011) Programación del riego de la papa (*Solanum tuberosum* Sw.) con máquinas de pivote central, en la Empresa Cultivos Varios "Valle del Yabú". Trabajo de Diploma. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central de Las Villas.
7. De Santa, Olalla.; Mañas, J.; Valero, J. (1993). Agronomía del riego. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España.
8. Dueñas, R. (2006). Agua, Sostenibilidad y Uso Eficiente del Agua. Editorial Samuel Feijoó. U CLV. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 84p.
9. Ekanayake, I. (1994). Estudios sobre estrés por sequía y necesidades de riego en la papa. Guía de Investigación CIP 30. Lima, Perú. Centro Internacional de la Papa. 40p
10. Espinosa E. R. J.; González M. D.; Hernández R. P.; San José L. M y González R. C. (2010) Estudio de la uniformidad de riego, en una máquina de pivote central *Revista Ciencias Técnica s Agropecuarias*, Vol. 19, No. 1, 2010 pp73-78

11. Fonseca, Y. (2006). Análisis de la calidad del riego y de la agrotecnia de la papa (*Solanum tuberosum Sw*) en la máquina de riego Fregat 3 de la E. C. V "Manacas". Tesis de Diploma. Carrera de Agronomía, UCLV. Villa Clara, Cuba. 48p
12. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2009). FAOSTAT data base. Rome, Italy. Sitio Web: <http://faostat.fao.org/>. [Consultado: 20-2-2014].
13. González, P. (2004). Manual para el diseño y operación de máquinas de pivote central. 64p.
14. Hernández, A.; Ascanio, M.O.; Morales, Marisol.; León, A. (2006). La historia de la clasificación de los suelos en Cuba. Editorial Félix Varela. La Habana, Cuba. 98p. ISBN 959-07-0145-0.
15. Herrero, A.; Sardi, G.; Maldonado, V.; Flores, M.; Orlando, A.; Carbó, L. (2000). Distribución de la calidad del agua subterránea en sistemas de producción agropecuarios bonaerenses. Calidad físico química y condiciones de utilización del agua, *Revista Argentina de Producción Animal (AAPA)*, Vol (20), N° 34. p. 229-237.
16. IWMI. (2009). ¿Cómo se pueden producir más alimentos con menos agua? Water Management and Environment-International Water Management Institute, Colombo Sry Lanka. Disponible en: <http://www.iwmi.org> [Consultado 20-02-2014].
17. Jerez, J.; Simpfendörfer, C. (2000). Efecto del riego en cultivos de papa. Tierra Adentro. Especial riego y drenaje. INIA Instituto de Investigaciones Agropecuarias (34). p.36-38.
18. Job, B., (2010) Programación de riego en el cultivo de la papa utilizando una máquina de pivote central en la UBPC-2 de la Empresa Cultivos Varios "Valle del Yabú". Tesis en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Santa Clara, UCLV.
19. King. A. B y Stark C.J (2002) Potato Irrigation Management University of Idaho Cooperative Extension System pp1-15
20. Machado, Y. (2012). Determinación de la calidad de riego con máquina de pivote central en la UBPC 3 de la Empresa Agropecuaria "Valle del Yabú".
21. Martínez-Aparicio, A.; Nieblas, A. (1988). La garantía de riego: un nuevo enfoque. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Vol. 1. N° 2.
22. Megh, R.G. (2009). Manejo de riego por goteo. Capítulo V: El tensiómetro, su uso, instalación y mantenimiento. Disponible en: http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/home.htm [Consultado 10-1-2014].

23. MINAGRI. (1999). Guía técnica sobre aspectos fundamentales del cultivo de la papa en Cuba. La Habana, Cuba. p. 15-33.
24. MINAGRI. (1999). Guía técnica sobre aspectos fundamentales del cultivo de la papa en Cuba. La Habana, Cuba. p. 15-33.
25. Montero, J.; Ortega, J.F.; Honrubia, F.T.; Ortiz, J.; Valiente, M. (2005). Recomendaciones para un adecuado diseño y manejo de los sistemas de riego por aspersión. Centro regional de Estudios del Agua. Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla
26. Pacheco, J. (2008). Propuesta de metodología para el manejo del riego en las máquinas de pivote central. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. 6p.
27. Pacheco, J.; Ismabel, M.; Domínguez, Y.; Lamadrid, J.O. (2006). Lluvia y evapotranspiración de referencia en cuatro puntos representativos de la provincia de Villa Clara, Cuba. *Revista Centro Agrícola* No 4. Editorial Feijóo ISSN: 0253-5785. p. 67-68.
28. Pacheco, Y. (2007) 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. Cali, Colombia –volumen I No.2. pp. 12-15
29. Pacheco, Y. (2008). 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. Cali, Colombia. Volumen I No.2. p. 12-15.
30. Peralta, J.M. (2005). Demanda de agua y programación del riego del cultivo de papa. Tierra Adentro. Chile.
31. Pérez, C.A. (2009) Manejo del riego en la papa (*Solanum tuberosum* Sw.) con máquina de pivote central, en la UBPC-2 perteneciente a la Empresa de Cultivos Varios “Valle del Yabú”. Trabajo de diploma. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central de Las Villas.
32. Rodríguez, L.R. (2002). Efecto del riego en la producción. 12p.
33. Roman, M.; Hurtado, G. (2002). Guía Técnica. Cultivo de la papa. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. La Libertad. El Salvador. Disponible:[http://www.salvador.gob.fe/redacta/prensa/fd66/texto/técnica .htm](http://www.salvador.gob.fe/redacta/prensa/fd66/texto/técnica.htm) [Consultado 09-02-2014].

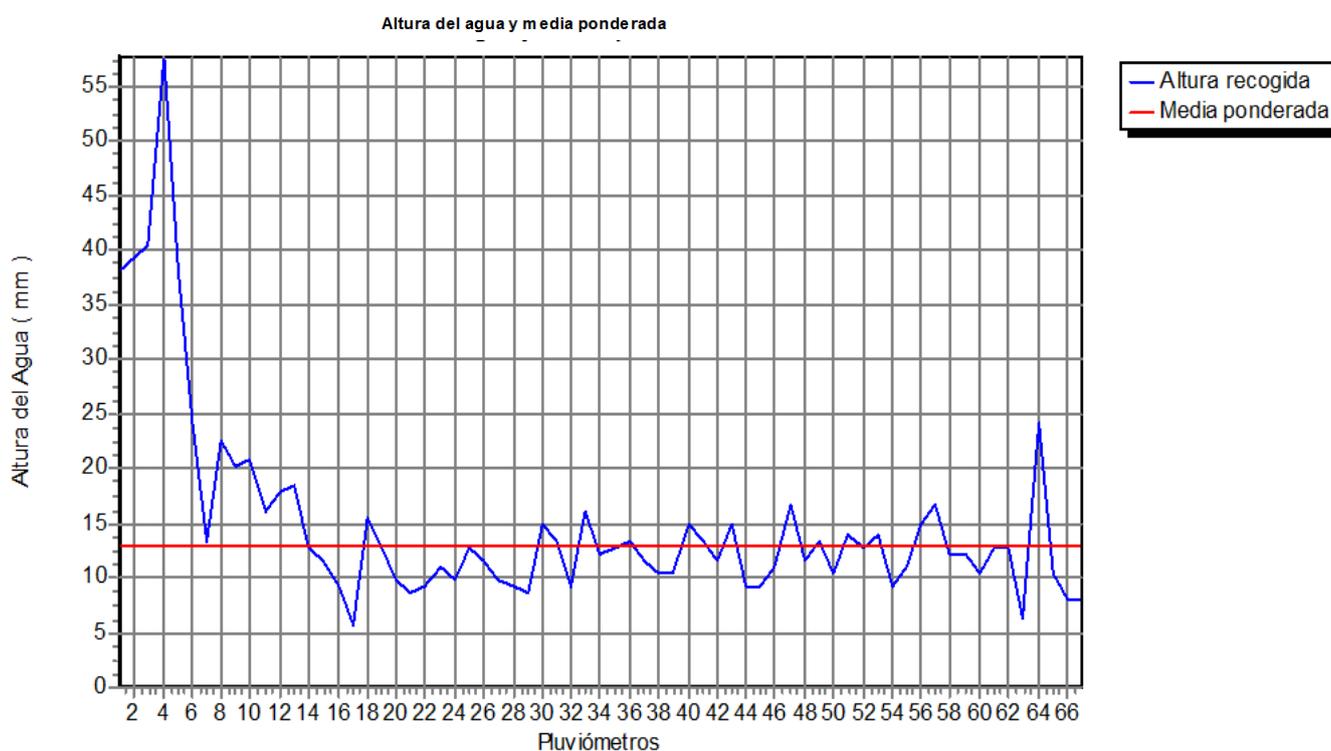
34. Soboh, G.; Sully, R.; Hopkins, H. (2000). Mecanismos para incrementar el número de tubérculos. Boletín de la Papa, RedePapa. Documento electrónico Vol.3, nº4
35. Tarjuelo, J. M. (2005). El riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundial-Prensa, p. 318. Madrid, España.
36. Treyer, A. (2013) Influencia de la baja uniformidad de riego con máquina de pivote central sobre el rendimiento de la papa (*Solanum tuberosum* L.).
37. Vázquez, B. E y Torres, G. (1995). Fisiología Vegetal. Editorial Pueblo y Educación. Habana.

ANEXOS

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



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 la UBPC 3 según el fabricante.

UBPC-3 Jesús Menéndez.

Campo 330

Máquina de pivote central eléctrica marca Western.

Área 19.40 ha

Longitud de la máquina 239 m



1 tramo de 61.2 m

Presión del sistema 1.9 bar

1 tramo de 60.6 m

2 tramos de 54.4 m

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

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
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

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	Riego	RR (20%) 18,42 mm.
16	2,35	0,95	2,23	0,20	99,07	96,07			3,00	19,80		
17	1,95	0,95	1,85	0,25	123,84	119,76			4,08	24,70		Crec. y tuberización.
18	2,70	0,95	2,56	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	2,96	0,95	2,81	0,25	123,84	106,73			17,11	24,70		RR(16%) 19,64 mm
23	2,91	0,95	2,76	0,25	123,84	123,84			0	24,70		
24	2,84	0,95	2,69	0,25	123,84	121,07			2,77	24,70	Riego	
25	2,80	1,10	3,08	0,25	123,84	118,38			5,46	24,70		RR(20%)18,42mm
26	3,14	1,10	3,45	0,25	123,84	123,84			0	24,70		
27	3,45	1,10	3,79	0,25	123,84	120,39	12	3,45	3,45	24,70		Lluvia
28	3,24	1,10	3,56	0,25	123,84	123,84			0	24,70		
29	3,46	1,10	3,80	0,25	123,84	120,28			3,56	24,70	Riego	
30	3,27	1,10	3,59	0,25	123,84	116,69			7,15	24,70		
31	3,56	1,10	3,91	0,25	123,84	113,09			10,75	24,70		

Balance febrero

				H	Wmax	Wp	Pc	Pa	Df	Mp	Riego	RR-%
Día	Eto Penm Mont (mm)	Kc	Etc (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 Aprov (mm)	Déficit hídrico presente en el suelo (mm)	Déficit 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%) 28,3 mm
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	3,62	1,20	4,34	0,25	123,84	107,77	44	0	16,07	24,70		RR(9%) 40,93 mm h
9	3,37	1,20	4,04	0,25	123,84	123,84			0	24,70	Riego	
10	3,51	1,20	4,21	0,25	123,84	119,79			4,04	24,70		
11	3,52	1,20	4,22	0,25	123,84	115,57			8,27	24,70		
12	3,66	1,20	4,39	0,25	123,84	111,34			12,5	24,70		Engrosamiento del tubérculo
13	3,51	1,3	4,56	0,25	123,84	106,94			16,9	24,70		
14	2,42	1,3	3,14	0,25	123,84	102,37			21,47	24,70		
15	3,55	1,3	4,61	0,25	123,84	99,22			24,62	24,70	Riego	RR(13%) 28,3 mm
16	3,50	1,3	4,55	0,25	123,84	123,84			0	24,70		
17	3,57	1,3	4,64	0,25	123,84	119,29			4,55	24,70		
18	3,46	1,3	4,49	0,25	123,84	114,8			9,04	24,70		
19	3,45	1,3	4,48	0,25	123,84	110,31			13,53	24,70		

20	3,47	1,3	4,51	0,25	123,84	105,83			18,01	24,70		
21	3,93	1,3	5,10	0,25	123,84	101,32			22,52	24,70		
22	4,00	1,3	5,2	0,25	123,84	96,22			27,62	24,70	Riego	RR(12%) 30,70 mm
23	3,93	1,3	5,10	0,25	123,84	123,84			0	24,70		
24	3,96	1,3	5,14	0,25	123,84	118,74			5,10	24,70		
25	3,72	1,3	4,8	0,25	123,84	113,59			10,25	24,70		RR(35%) 10,53 mm
26	4,28	1,3	5,56	0,25	123,84	123,84			0	24,70		
27	4,14	1,3	5,38	0,25	123,84	118,28			5,56	24,70		RR(35%) 10,53 mm
28	2,98	1,3	3,87	0,25	123,84	123,84	13,8	0	0	24,70		

Balance marzo

Día	Eto Penm Mont (mm)	Kc	Etc (mm)	H Capa activa de suelo (m)	Wmax Reserva máxima de agua en el suelo (mm)	Wp Reserva de agua presente en la capa activa de suelo (mm)	Pc Lluvia caída (mm)	Pa Lluvia Aprov (mm)	Df Déficit hídrico presente en el suelo (mm)	Mp Déficit hídrico máximo	Riego Fecha de riego según balance (mm)	RR-% Fecha de riego real y regulación de la máquina (mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3,59	1,3	4,66	0,25	123,84	119,96			3,87	24,70	Riego	
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 (16 %) 19,64 mm
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	Riego	RR (13%) 28,3 mm
9	4,02	1,3	5,22	0,25	123,84	123,84			0	24,70		

