



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOVIS INPONETUR VIRILISTOGA. 1948

Facultad de Ciencias Agropecuarias
Departamento de Agronomía

Trabajo de Diploma

Título: 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"

Diplomante: Brian Job Olema

**Tutores: Dr. C. Juan Pacheco Seguí
Ing. Andrés Pérez Corra**

Curso 2009 - 2010



Pensamiento



*“La agricultura es la única fuente
constante, cierta y eternamente de riqueza”*

José Martí.

Dedicatoria



A mi familia por haber estado a mi lado durante todos estos momentos que me han convertido a un hombre honesto e intelectual.

A Benard Jee Aluma y Anguparu Zickie que han sido dos personas claves en mi vida con todo el apoyo incondicional que me han brindado, les amos mucho.

A shinaz sharif abnoor, eres simplemente la mejor que he conocido.

Esta obra es dedicado especialmente en la memoria de YOTI RONNIE que ha estado, sigue estando y siempre estarás entre nosotros y siempre rezamos para tí.

Agradecimientos



Mis más profundos agradecimientos:

- ♣ *Primeramente a la cooperación entre Gobiernos y pueblos de la República de Cuba y Uganda por un visión de un mundo justo, libre y alfabeto.*
- ♣ *A la empresa de cultivo varios “Valle de Yabú” por haber dado me la oportunidad de desarrollar este trabajo en este empresa tan maravillosa y dedicado.*
- ♣ *A todos los trabajadores de la UBPC # 2 “Capitán Roberto Rodríguez” por todo la atención que me dieron durante el transcurso de este trabajo.*
- ♣ *A los trabajadores del taller de Maquinaria y Riego de la Empresa Cultivos Varios “Valle del Yabú”, especialmente Roberto, aprendió mucho de tí.*
- ♣ *A mis compañeros de aula, mis profesores, amigos y todos los trabajadores de la facultad (especialmente el departamento de ciencia de suelos) con quienes hemos compartidos durante todos estas anos.*
- ♣ *A mí tutor Dr. C. Juan Pacheco Seguí y su familia por haber aceptado me en su casa además de la atención y ayuda que me ofrecieron, ustedes siempre estarán en mí corazón.*
- ♣ *A Ing. Andrés Pérez Corra que me ha acompañado, apoyado y ayudado incondicionalmente durante todo este trabajo, tiene toda mí admiración porque eres uno de los poco que he visto hacer lo que hacen con mucho dedicación y amor.*

Los amo mucho.

Resumen



Programación de riego en el cultivo de papa utilizando una máquina de pivote central en la UBPC-2 de la Empresa Cultivos Varios “Valle de Yabú”

**Diplomante: Brian Job Olema
Tutores: Dr. C. Juan Pacheco Seguí**

Ing. Andrés Pérez Corra

El presente trabajo se realizó en la UBPC#2 perteneciente a la Empresa de Cultivos Varios “Valle del Yabú” con el objetivo de ofrecer una programación de los riegos de la papa que se ajustara a las propiedades del suelo, el comportamiento del clima y la fase fenológica del cultivo y con mejoramientos en la operación de la fertirrigación. Fueron instalados tensiómetros cuyas lecturas se tomaron diariamente y muestras de humedad del suelo varias veces al mes para calibrar el modelo de balance agrometeorológico, el cual, demostró ofrecer una programación de riego correcta en la mayor parte del ciclo vegetativo. Se aplicaron 9 riegos para una Norma Total de 147.4 mm, pero se produjeron déficits de agua en el suelo que indican la necesidad de un mayor aporte de agua. Se realizó el análisis químico del agua durante el fregado de la máquina después del fertirriego y se estableció que en 20 minutos queda limpia de residuos de Urea y fue fregada en la guardarraya de parqueo. El rendimiento del área de la máquina fue afectado por pudriciones de los tubérculos motivadas por problemas de drenaje ante las fuertes lluvias que se presentaron en febrero y marzo y por insuficiente población de plantas.

Palabras claves: Programación del riego de la papa, tensiómetros, balance hídrico, fertirrigación de la papa.

Índice



INTRODUCCION.....	1
El cultivo de la papa y sus requerimientos climáticos.....	3
El Agua en el cultivo de la papa.....	4
Lámina de agua.....	5
Calidad del agua de irrigación de la papa.....	6
Efectos de la variación de la humedad del suelo.....	6
Tensiómetros para conocer la disponibilidad de agua del suelo.....	7
Maquinas de riego de pivote central.....	7
Uniformidad de riego con los pivote centrales.....	8
Caudal y pluviosidad en las maquinas de pivote central.....	9
Fertirriego en el cultivo de papa.....	10
La aplicación de fertilizantes con Pivote Central.....	10
Uniformidad en la distribución del los fertilizantes.....	10
Calibrar el equipo de inyección.....	11
Repuesta de la papa al riego.....	11
Programación del riego en los cultivos agrícolas.....	11
MATERIALES Y METODOS.....	13
Variables climáticas.....	13
Tecnología de riego utilizada.....	15
Medición de la tensión de humedad en el suelo.....	17
Determinación de la humedad del suelo.....	18
Balance Hídrico Agrometeorológico.....	19
Evaluación del lavado de la máquina.....	21
Calculo de la dosis de inyección del fertilizante.....	22
Evaluación de la masa seca de los tubérculos.....	23
Evaluación de las plantas en fase de crecimiento.....	24
Rendimiento Agrícola.....	24
RESULTADOS Y DISCUSION.....	25
Evaluación pluviométrica.....	25
Capa activa del cultivo.....	26
Estudio de la tensión de humedad del suelo.....	30
Variación de la humedad del suelo.....	33
Balance del agua en el suelo por métodos agrometeorológico.....	34

Fertirrigación.	39
Fregado de la máquina.....	40
Estudio de la masa seca.....	41
Evaluación de rendimientos.	42
Análisis estadístico del peso y número de los tubérculos cosechados en las microparcels..	44
Análisis económico de la UBPC-2 para la campana2009- 2010.	45
CONCLUSIONES.	46
RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFIA.	I
ANEXOS.....	V

INTRODUCCION.

La papa (*Solanum tuberosum Sw*), es un cultivo herbáceo cuyos tubérculos constituyen un alimento muy apetecido. Originado en el altiplano aledaño al lago Titicaca entre Perú y Bolivia fue llevado hacia el sur y el norte. La papa por su origen es un cultivo propio de temperaturas bajas y buena luminosidad, alcanza su mejor desarrollo a temperaturas medias de 18C°, lo cual coincide con el periodo de invierno en Cuba. Se debe disponer, durante toda la temporada, de 5000 a 6000/m³ de agua para regar una hectárea. La papa es considerada un cultivo de gran importancia por su elevada capacidad de producción de sustancias alimenticias por unidad de superficie, que es tres veces mayor que en los cereales, las sustancias más importantes para la alimentación humana son: almidón, proteínas, vitaminas, aceites, y las sustancias minerales entre otras. Cuba logra un promedio de 24 a 25 toneladas por hectárea. En nuestro continente, solo Estados Unidos, Canadá y Argentina alcanzan los mayores rendimientos, mundialmente se destaca Holanda donde se obtienen rendimientos del orden de las 40 t/ha de tubérculos.

El riego de la papa en las condiciones de Cuba con un invierno seco es de vital importancia, porque en su época de desarrollo Noviembre-Marzo se presentan muy pocas precipitaciones y en la provincia de Villa Clara por la fecha de llegada de la semilla importada, generalmente se planta desde diciembre y hasta inicios de enero, lo que condiciona el desarrollo del cultivo a la existencia de regadío. El riego en Cuba bien administrado contribuye a obtener aceptables rendimientos, cuando la papa se planta en la época óptima y el clima se presenta con temperaturas medias no mayores de 20 grados Celsius en el periodo enero-febrero. La Empresa de Cultivo Varios "Valle del Yabú" se destaca en la producción de la papa en suelos con alto contenido de arcilla, los cuales, no son los más apropiados para este cultivo, en los últimos 10 años la mencionada empresa ha incrementado los rendimientos bajo riego con la introducción de maquinas de riego de pivote central, pero no existe una normativa para indicarle al regador el momento y la cantidad de agua a aplicar al cultivo en cada riego, esto se hace empíricamente, por lo que se necesita una metodología que tenga en cuenta el clima, el cultivo y las características

del suelo, o sea, lo que se conoce como el empleo de métodos agrometeorológico para la administración del regadío (Pérez, 2009). Por otra parte, se aplica urea en el agua de riego, pero se añade en riegos innecesarios que originan vueltas adicionales a la máquina y luego se produce el fregado de la máquina sobre los cuadrantes no fertirrigados. El presente trabajo de diploma trata de resolver el siguiente problema científico:

Mejorar técnicamente la programación del riego y la fertirrigación de la papa utilizando la máquina de pivote central ubicado en el campo 14 de la UBPC-2, perteneciente a la empresa de Cultivos Varios (Yabú).

HIPOTESIS

Una vez establecido un programa para el riego de la papa que considere los factores clima, suelo y cultivo y la fertirrigación sea incorporada como parte de la actividad normal del riego la empresa podrá realizar una operación eficiente del sistema de riego con ahorro de energía, productos químicos y sin afectación ambiental.

OBJETIVO GENERAL:

Ofrecer una programación de los riegos de la papa a la UBPC # 2 que se ajuste a las propiedades del suelo, el comportamiento del clima y la fase fenológica del cultivo y con mejoramientos en la operación de la fertirrigación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar la pluviometría de la máquina de riego.
2. Determinar con muestreos semanales la oscilación de la humedad del suelo, en la zona comprendida como capa activa de la papa (0-30cm).
3. Realizar balances hídricos diarios en el suelo para decidir el momento de riego.
4. Evaluar la concentración de N-amoniaco en el agua de riego en diferentes momentos durante el lavado de la máquina.
5. Determinar la marcha de la tensión de humedad del suelo.
6. Determinar el rendimiento del cultivo.

REVISION BIBLIOGRAFICA.

El cultivo de la papa y sus requerimientos climáticos.

La patata (*solanum tuberosum Sw*) pertenece a la familia de las solanáceas que incluye miles de especies, entre las que se encuentran el tomate, el calabacín, el pimiento y la planta de tabaco. Es una planta anual, herbácea, de altura variable entre 50 a 80 centímetros. Los tallos aéreos son de color verde, marrón rojizo o morado con ramificaciones. Los estolones son tallos laterales que crecen horizontalmente por debajo del suelo y que pueden formar tubérculos o crecer verticalmente desarrollando follaje normal, lo anterior ocurre en el caso que los estolones no hayan sido cubiertos de tierra por completo (Huaman, 1986). Faiguenbaum (1987), señala que la papa se adapta bien a climas predominantemente frescos y con valores no muy altos de humedad ambiental, lo anterior para que el desarrollo de la planta sea lento, favoreciendo la formación de carbohidratos que son fundamentales para el proceso de formación de los tubérculos. La papa se desarrolla con temperaturas medias relativamente bajas, inferiores a 25° C, temperatura que establece el límite por sobre el cual deja de ocurrir la tuberización (Domínguez, 1989). Al respecto, Doorembos y Kassam(1986), señalan que las temperaturas más favorables para el desarrollo de la planta y la producción de los tubérculos, oscilan entre los 15 a 20 °C, siendo las temperaturas nocturnas inferiores a 15 ° C las óptimas para dar inicio a la tuberización. Esta alternancia de temperaturas entre el día y la noche es lo que en las condiciones de Cuba, favorece el desarrollo de los tubérculos sin tener el clima de Cuba las temperaturas bajas propias de los países templados. La temperatura del suelo influye en la velocidad de crecimiento de los brotes y de la emergencia. Es así como suelos fríos (por debajo de los 15 °C), retardan la emergencia en tanto que los suelos más calientes la estimulan. Por otra parte, temperaturas demasiado altas (temperaturas nocturnas sobre 20° C), pueden impedir la formación de tubérculos (Cortbaoul, 1993).

El Agua en el cultivo de la papa.

Para un buen desarrollo del cultivo de papas o patatas se requiere en promedio de 400 a 800 milímetros de agua dependiendo de las condiciones climáticas y de la duración del período vegetativo (Haverkort, 1986). Al respecto Bosnjak y Pejlik (1996), reportan necesidades que varían entre 460 y 480 milímetros, en tanto que Klassen *et al.* (2001), señalan que para la obtención de buenos rendimientos y dependiendo de las condiciones climáticas de la zona, el cultivo de papas necesita de aproximadamente 455 milímetros de agua por temporada. El ciclo vegetativo del cultivo en condiciones de clima templado suele extenderse hasta 150 días, pero en Cuba normalmente no sobrepasa los 100 días, con frecuencia la mayoría de las variedades comerciales se cosechan a los 80-90 días (López et al., 1995). Este detalle marca la diferencia en cuanto a los volúmenes de agua necesarios en Cuba y en los países de clima templado.

Lo anterior concuerda con lo señalado por Doorembos y Kassam (1986), quienes señalan que para lograr altos rendimientos en variedades cuyos ciclos sean de 120 a 150 días, los requerimientos hídricos son de 500 a 700mm por temporada, dependiendo del clima, los cuales coinciden con Dueñas (2006). En el caso de climas húmedos como el sur de Chile, Varas *et al.* (1995), acotan dichos requerimientos de 300 a 400 milímetros de agua para la obtención de buenos rendimientos. Según Jerez y Simpfendofer (2000), las necesidades de agua de la papa varían entre 400 y 600 mm por temporada. La falta de agua es el estrés más común en este cultivo. La papa no compensa con el alargamiento del periodo vegetativo los periodos de sequia. Aun un corto período de sequia afecta el rendimiento, especialmente después del comienzo de la formación de los tubérculos. El suelo seco causa la reducción del número de tallos. En un suelo seco y con terrones solo se desarrollan los brotes que tienen acceso al agua. Al comienzo de la formación de los tubérculos, la sequedad favorece el ataque de costra común (*Streptomyces scabies*), las grietas del suelo, debidas a la sequia, favorecen la infestación de los tubérculos por insectos, especialmente la polilla de la papa (*Gnorimoschema operculella*). La sequia influye directamente en el rendimiento restringiendo la transpiración y la fotosíntesis, indirectamente lleva a la reducción de la evaporación proveniente

del suelo y las hojas, aumentado la temperatura del suelo y de la planta, la temperatura alta es desfavorable para la iniciación de los tubérculos. La sequía también contribuye a los defectos fisiológicos de los tubérculos, tales como la necrosis interna, especialmente al final de la campaña cuando el follaje está seco y el suelo expuesto al sol. Los suelos secos forman terrones que dificultan el manejo del suelo y del cultivo y causan daño mecánico al tubérculo durante la cosecha. (Haverkort, 1982). Haverkort (1986) señala que el exceso de agua por lluvias fuertes, irrigación abundante, o drenaje deficiente, impide al oxígeno llegar a las partes subterráneas de la planta de la papa, dando como resultado el desarrollo pobre de las raíces y la pudrición de los tubérculos recién formados. Los tubérculos –semillas- son especialmente susceptibles a la pudrición. El exceso de riego poco después de la siembra puede reducir la emergencia, debido al excesivo crecimiento de lenticelas, lo cual permite la entrada de parásitos. También el exceso de agua puede ser causa de que los tubérculos se pudran antes de la cosecha e incluso favorece el desarrollo del tizón tardío (*phytophthora infestans*).

Lámina de agua.

La lámina de agua aplicada al cultivo de papa depende del tipo de suelo, fase de desarrollo del cultivo, las condiciones climáticas de la zona, Es importante mencionar que la lámina debe calcularse para las condiciones específicas de la zona de producción del cultivo. Para decidir el método de entrega del agua a utilizar, debe evaluarse la factibilidad técnica, económica y social 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. 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. Lamina de agua e intervalos de riego según los diferentes tipos de suelo. (Adaptada de Pérez (2009))

Textura del suelo	Lámina de riego mm	Volumen de agua (m ³ .ha ⁻¹)	Evotranspiración potencial (mm/día)		
			5	6	7
Intervalo de riegos (días)					
Arenosa	16	160	3	3	3
Franco arenosa	24	240	4	4	3
Franca	34	340	6	5	4
Franco Arcillosa	37	370	7	6	5

Calidad del agua de irrigación de la papa.

La papa es bastante susceptible a la sal en los suelos o en el agua de riego. Esto es más marcado en los suelos pesados. Las sales son más fácilmente lavadas y eliminadas de los suelos arenosos. El riego con agua que contiene sal en exceso puede quemar el follaje. Entre los aniones Cl⁻, So₄⁻, y Co₃⁻, el Cl⁻ es el más fitotóxico. El catión Na⁺ influye negativamente en la estructura del suelo. Un contenido de 4g de NaCl en un litro de agua puede causar hasta 50% de reducción del rendimiento. Cuando el contenido de sal del suelo o agua es alto, el límite de sequía es alcanzado más rápidamente. No se debe dejar que el suelo se seque como en condiciones normales sin presencia de sales. La salinidad del suelo puede reducirse mediante el lavado con agua de riego que no contenga sales, lo cual, debe anteceder varios meses a la plantación de la papa por ser este un proceso lento muy influenciado por la conductividad hidráulica del suelo (Haverkort, 1982)

Efectos de la variación de la humedad del suelo.

La excesiva variación de la humedad del suelo afecta la calidad de los tubérculos. El agua después de una sequía prolongada puede causar un segundo crecimiento. Los tubérculos toman formas semejantes a cuello de botella o se deforman de diversas maneras y pueden romperse (Duenas, 2006). El recomienzo de la tuberización conduce a la formación de numerosos tubérculos pequeños. (Haverkort, 1986)

Tensiómetros para conocer la disponibilidad de agua del suelo.

El uso del tensiómetro es una de las prácticas tecnológicas de la agricultura moderna. La aplicación eficiente del riego requiere que se usen las cantidades óptimas de agua y que ésta esté disponible cuando la planta la necesita. La cantidad de agua que se aplique debe reponer totalmente la humedad requerida por el suelo para restablecer lo que conocemos como capacidad de campo. Esta es la cantidad máxima de agua que se puede retener entre partículas del suelo de forma capilar y que está disponible para el uso por las plantas. La única forma eficaz de manejar el riego sin pérdida apreciable de agua y elementos nutritivos es conociendo el índice de humedad del suelo. (Megh et al, 2009). 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 las cuales las raíces de las plantas absorben activamente el agua. 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 micromedio bien irrigado. Al respecto Soboh *et al.* (2000), afirman que la tensión de humedad ideal para el cultivo es de 0.4 bares, o sea 40 centibares. En realidad la diferencia entre la opinión de ambos autores (5 centibares) resulta despreciable en la práctica del regadío.

Maquinas de riego de pivote central.

Los equipos de riego conocidos como “pivotes centrales” pertenecen a los grupos de sistemas de riego auto trasladables y son constituidos por una tubería sustentada sobre torres automotrices y que gira en torno a un punto fijo al que llega el agua y la energía. Según se puede trasladar o no el punto central, el pivote será fijo o móvil y la movilidad de los equipos pivote dependerá de su estructura y composición pudiéndose auto propulsar (equipos multicentro) o necesitaran la ayuda de otra máquina (tractor) para realizar el traslado de posición. (Suarez et al., 2005). Los primeros modelos de maquinas de pivotes modelo Fregat según González, (2004) eran los primeros ampliamente utilizados en la Agricultura Cubana y eran de accionamiento

hidráulico y aspersores de impacto sobre la tubería para el riego en la agricultura no cañera, se introdujeron en 1977, beneficiando 469.7 ha; diez años después ya existían 209 máquinas regando 3247.64 ha. En Cuba los primeros pivotes de accionamiento hidráulico comenzaron a ser sustituidos por eléctricos, de forma gradual, a partir del año 2000 con una gran aceptación por los productores al incrementarse las ventajas operacionales, unidos a un aumento en el ahorro energético y de agua (Reynaldo et al., 2006). La tendencia hacia las máquinas de pivote central eléctricas en Cuba, ha sido principalmente el resultado de la electrificación de los campos y los altos niveles de automatización y eficiencia que facilitan estas nuevas máquinas.

Uniformidad de riego con los pivotes centrales.

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. Tradicionalmente esta uniformidad se determina a partir de las alturas de agua recogidas en una red de pluviómetros que forman una cuadrícula en el área bajo riego de un sistema de aspersión. En una máquina de pivote central los pluviómetros se colocan en un radio de riego a partir del pivote y en este caso de los pivotes, cada aspersor o boquilla colocada a lo largo del ramal de riego, humedece una corona circular de tamaño diferente, lo que exige que las alturas de agua recogidas en los pluviómetros sean ponderadas de acuerdo con la superficie de terreno asignado a cada pluviómetro o boquilla (Pacheco, 2007). Según Tarjuelo (2005) en riego por aspersión atendiendo a la respuesta de los cultivos suele manejarse el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU) del siguiente modo: para cultivos de alta rentabilidad con sistema radicular superficial CU= 88%, para cultivos extensivos con sistema radicular de profundidad media CU = 82-88%, y en frutales y forrajes con sistema radicular de profundidad media CU = 70-82%. Los ensayos de campo realizados a pivotes dan valores generalmente altos del CU, (del 80 al 90%), con velocidades de viento inferiores a 7,5m/s (Jensen, 1980). Keller (1990) indica valores de CU entre 90 y 94% para sistemas bien diseñados si se tienen en cuenta los riegos sucesivos al utilizar altas frecuencias. Cuando el viento sopla hacia el centro pivote, en la dirección

del lateral, el área regada disminuye alrededor de un 17%, mientras que cuando sopla hacia el extremo, el área regada crece de un 19% (Von Bernuth, 1983). Algunos factores que distorsionan la uniformidad de reparto de agua tienden a compensarse en los sucesivos riegos mientras que otras tienden a acentuarse cada vez más. Este sería el caso de: el funcionamiento defectuoso de algún emisor, las diferencia en las condiciones de funcionamiento de los emisores por cambios de elevación, la existencia de escorrentía, la mala distribución de agua en los bordes. 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 del coeficiente de uniformidad, menores al 80 % se considera que el pivote no riega adecuadamente.

Caudal y pluviosidad en las máquinas de pivote central.

Suarez et al., (2005) señala que la cuestión de la pluviometría instantánea es muy importante a la hora de seleccionar el equipo pivote central. La pluviometría en un pivote crece del centro al extremo ya que cada metro de máquina tiene que regar mayor superficie y la pluviometría tiene que aumentar para que toda la superficie regada reciba la misma cantidad de agua. También señala que la pluviometría instantánea depende del alcance del emisor, tamaño de la boquilla, presión en la boquilla, distancia entre emisores y la longitud del pivote. Una vez fijado estos parámetros la pluviometría será fija en cada punto a lo largo del pivote y no cambia al variar la velocidad. También se establece como norma en suelos arcillosos o con mucha pendiente no sobrepasar los 50mm/h de pluviometría máxima en el extremo. Tarjuelo, (2005) explica el crecimiento progresivo de la pluviosidad desde el centro al extremo del lateral porque el tiempo de aplicación de agua a un punto del terreno va siendo cada vez menor a medida que nos alejamos del punto pivote y todos los puntos tienen que recibir la misma cantidad de agua, en lo cual, coincide con Suarez et al., (2005).

Fertirriego en el cultivo de papa.

La quimigación es la aplicación de químicos agrícolas (fertilizantes, fungicidas, herbicidas, insecticidas, nematicidas, etc.) dentro del flujo de agua a través de los sistemas de riego. Debido al corto ciclo vegetativo de la papa en nuestro país, a su rapidez e intensidad de crecimiento, la cantidad, calidad y forma de aplicación de los fertilizantes tienen una gran importancia para el cultivo de esta planta, lo que se refleja decisivamente en el rendimiento y productividad del cultivo y en la calidad de la cosecha. El fertirriego con N debe aplicarse a partir de los 30 y hasta los 60 días de sembrada la papa. El Nitrógeno es un elemento fundamental para el cultivo debido a que es el principal estimulante del crecimiento de las plantas. La dosis fraccionada que se aprueba en esta primera etapa para el cultivo de la papa es 15 %, 35 %, 35 %, 15 %, a razón de 224 Kg/ha comenzando a los 30 días y terminando a los 60 días. Se prohíbe fertirriego después de los 60 días. (González et al., 2000)

La aplicación de fertilizantes con Pivote Central.

Para lograr una fertirrigación de manera segura, eficiente y uniforme en máquinas de pivote central deben tomarse las siguientes precauciones; Asegurar la protección del personal, Tomar las medidas para proteger el medio ambiente, Garantizar una buena uniformidad en la distribución del agua, Calibrar el equipo de inyección, Aplicar la cantidad correcta del fertilizante en el tiempo establecido, Aplicar la concentración correcta y el lavado de la máquina. (González et al., 2000).

Uniformidad en la distribución de los fertilizantes.

Para operar satisfactoriamente la fertirrigación a través de los pivotes centrales, el obstáculo más difícil de vencer es garantizar una buena uniformidad en la aplicación. Para lograr esto, se requiere que el módulo de boquillas esté instalado de acuerdo a las especificaciones de la carta de distribución de emisores que debe poseer cada máquina, y que el Pivote funcione con la presión calculada. Es conveniente al inicio de la campaña de riego hacer determinaciones del Coeficiente de Uniformidad. (González et al., 2000).

Calibrar el equipo de inyección.

Para la calibración del equipo de inyección son necesarios, un cronometro y una probeta graduada. La probeta debe ser transparente, y lo suficientemente larga para contener el volumen para cinco minutos de inyección, calibrada en mililitros. La bomba inyectora bombea hacia un recipiente calibrado para períodos de tiempos medidos con él cronometro. Este método es aceptable sólo para la aplicación de fertilizantes, para inyectar pesticidas se requiere un conocimiento preciso de la dosis de inyección. (González et al., 2000)

Repuesta de la papa al riego

La importancia del riego en la producción del cultivo de papas ha sido demostrada por Jeréz y Simpfendöfer (2000), quienes informaron aumentos en los rendimientos de entre un 53,8 % a un 84,4 %, para la zona sur dependiendo de la variedad en estudio y el año. Además, mediante la aplicación de 400 mm de agua a través de riego por aspersión (variedad Desirée), informaron rendimientos de 69 t/ha superando las 32 t/ha que se logran sin riego. Los cultivos que no sufren estrés hídrico producen aproximadamente 6 t/ha de tubérculos por cada 25 mm de agua usados por la planta, así que si se aplican 100 mm la respuesta al riego debe ser de 20 t/ha asumiendo 15% de pérdidas durante la aplicación. Con un riego correcto la planta tiene una respuesta de rendimiento de aproximadamente 0.2 t/ha/mm de agua, lo cual lo hace muy rentable. El riego también puede utilizarse para prevenir algunas enfermedades y para producir tubérculos de tamaño y calidad deseada para un uso específico (Andrew, 2000).

Programación del riego en los cultivos agrícolas.

Una vez que los agricultores disponen de una determinada técnica de riego, corresponde entonces decidir en qué momento se aplica el agua a los cultivos y la magnitud de la lámina de agua a aplicar. En muchos sistemas de riego, las decisiones que implican los conceptos anteriores se toman empíricamente, sin

tener datos de las propiedades de los suelos, etapas fenológicas de los cultivos y condiciones climáticas.

En España existen sistemas de asesoramiento al regante (Tarjuelo et al., 2002) que indican el momento en que debe regarse determinado cultivo o el intervalo de riego que le corresponde en determinada decena de cada mes, siempre haciendo uso del cálculo de la evapotranspiración de referencia. En Brasil el Sistema Irriga (INIA, 2010) ofrece vía internet una asesoría total a los agricultores contratados del centro y sur de Brasil mediante el monitoreo del clima a través de estaciones meteorológicas automáticas. En Cuba se dan los primeros pasos para instrumentar sistemas de asesoramiento al regante (Pacheco, 2008).

,

MATERIALES Y METODOS.

El trabajo fue realizado en el Campo 14 de la UBPC # 2 que pertenece la Empresa Cultivo Varios "Valle del Yabú", ubicada en el municipio de Santa Clara, provincia Villa Clara, en el período comprendido de enero a abril del 2010. El Campo 14 se caracteriza por tener un suelo pardo sin carbonato, plastogénico, medianamente humificado, 30 cm de profundidad efectiva y ligeramente ondulado, con las siguientes características hidrofísicas: Capacidad de campo en base a peso de suelo seco del 50% y densidad aparente de 1.0 g/cm³. La variedad plantada fue Santana y se realizó la plantación el 28 de diciembre del 2009, a una distancia de siembra de 0.90m de camellón por 0.25m de narigón y el área plantada en el Campo 14 fue de 20.13 hectáreas (ha).

La semilla utilizada en la plantación de la papa por cuadrante tenía las siguientes características: la semilla fue importada, con calibres 1, 2 y 3, llegó al país con problemas debido a deficiente manipulación de las temperaturas en el barco durante la transportación, también hubo deficiente manipulación en los pilones resultando en afectaciones a la brotación, se plantaron semillas picadas (50%) representando un área de 10.06ha y el resto 10.07 fue plantada con semilla entera.

Variables climáticas

En la figura 1 se presenta una combinación de las temperaturas máximas, mínimas y medias y la lluvia acumulada por semana. Las temperaturas mínimas variaron de 9.9 a 19.3 °C y las temperaturas máximas oscilaron entre 22.3 hasta valores de 30.6 °C. La temperatura media entre la semana 3 y 6 son sobre las 20 °C y de igual forma son las semanas 11 a 13 que indican condiciones desfavorables para la tuberización de la papa que se está iniciando en estas semanas (6).

Los valores de las precipitaciones fueron excesivos en las semanas 8 y 12 los que causaron serios problemas de drenaje que favorecieron la aparición de enfermedades pero es importante considerar que las lluvias inferiores a 5 mm

no son consideradas efectivas para el desarrollo del cultivo, debido a que dicha cantidad queda retenida en las hojas y se evapora con facilidad.

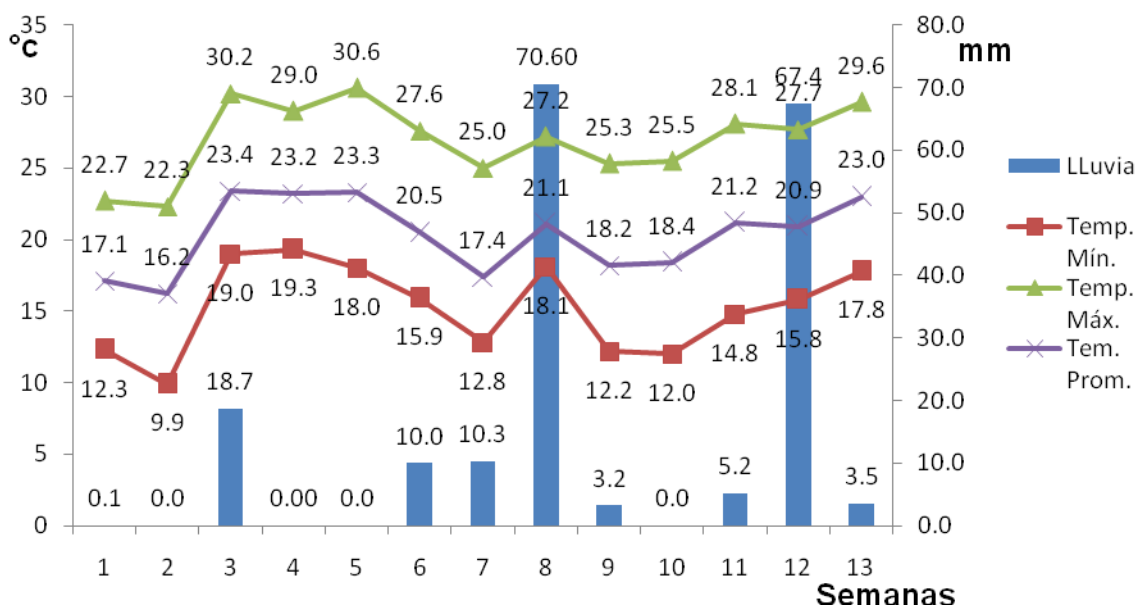


Figura 1. Comportamiento de las temperaturas y la precipitación durante el ciclo del cultivo de la papa 2009-2010.

En la figura 2, se muestran las horas diarias de brillo solar, donde se destaca de hecho mes de febrero con varios días superiores a enero y marzo, este hecho debe tener relación con el aumento de la temperatura media en febrero.

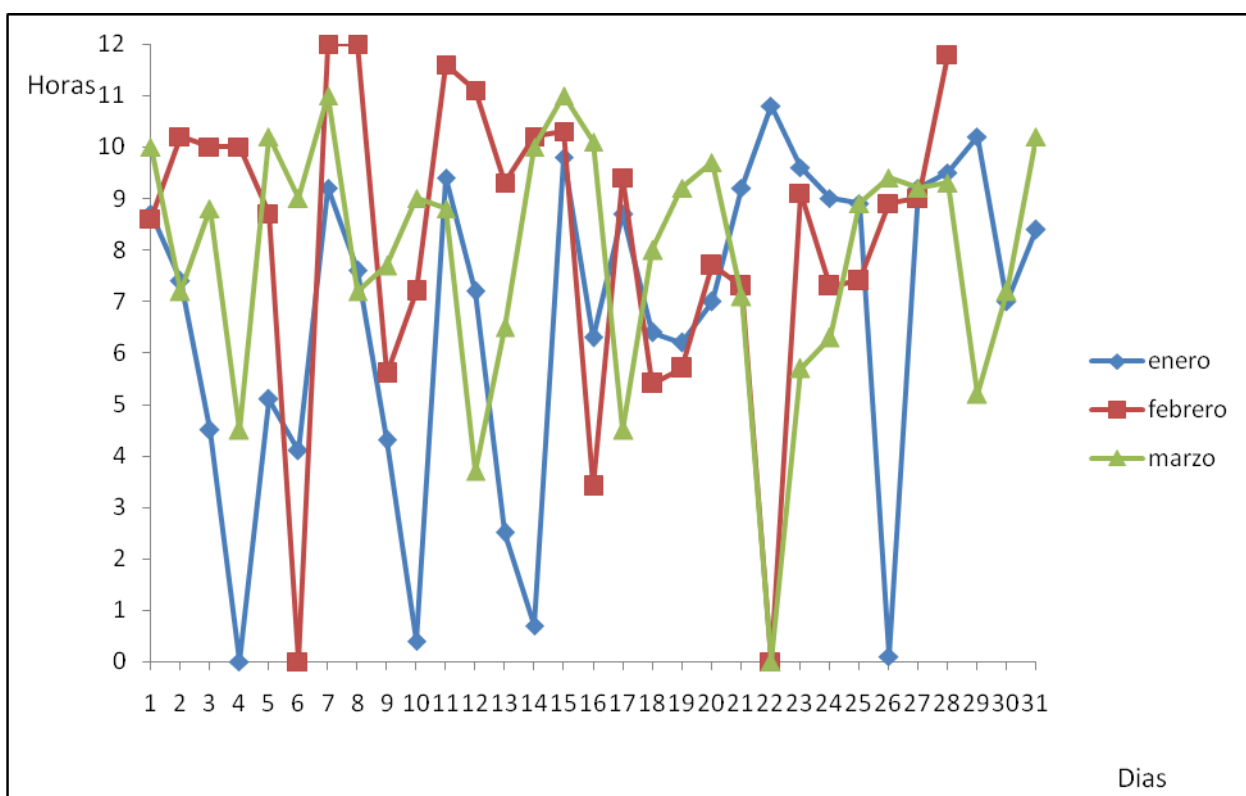


Figura 2. Horas de brillo solar durante el ciclo vegetativo de la papa en la campaña 2009-2010.

Tecnología de riego utilizada

La tecnología de riego utilizada en el campo 14, fue riego por aspersión mediante una maquina eléctrica de pivote central marca Western, las características de la misma se muestran en la tabla 2.

Tabla2. Características de la máquina Western del campo 14.

MODELO MÁQUINA	No. TORRES	ÁREA REGADA (ha)	CAUDAL (L/s)	LONGITUD (m)	HIDROMO DULO (L/s/ha)	EFICIENCIA (%)
Western	5	20.13	27.6	260	1.30	90

Se realizo una evaluación pluviométrica, en la fase de brotación, de acuerdo con la metodología que se establece en el Reglamento para la organización, operación y mantenimiento de los sistemas de riego y drenaje (González,

2004). Estas evaluaciones se hicieron con el objetivo de comprobar los parámetros anteriormente mencionados. La evaluación fue realizada en las primeras horas del día para evitar la incidencia de vientos fuertes que interfirieran en los resultados del trabajo. 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 3 m, se utilizó una cinta métrica para medir las distancias entre pluviómetros. La pluviometría recogida fue medida in situ con una probeta graduada de 250 ml. Se determinó la velocidad del viento utilizando un anemómetro a dos metros de altura cada 15 minutos y con la brújula se determinó su dirección. Los datos pluviométricos fueron procesados por el software Pluviopivot (Pacheco, 2004), para el cálculo del Coeficiente de Uniformidad Ponderado y la lámina media de agua aplicada. Se calculó la velocidad de la última torre, en una distancia de 5m, que coincidía con el recorrido de la última rueda, y se tomó el tiempo de traslado para esta distancia, después se halló la velocidad con la relación de distancia entre tiempo.

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 (Tarjuelo, 2005). Keller (1990) citado por Tarjuelo (2005) mantiene que, en condiciones normales estas pérdidas por evaporación y arrastre varían entre el 5 y el 10%. Por lo antes expuesto, tratándose de un suelo llano y de alta capacidad de almacenamiento de agua, no consideramos otras pérdidas y en los cálculos realizados asumimos una eficiencia de aplicación del agua de 90% que es aceptada en las máquinas de pivote central en nuestro país.

Según el fabricante la aplicación de agua por revolución de la máquina se muestra en la tabla 3, estas relaciones entre la aplicación de agua, la configuración del cronometro de la máquina y la velocidad del pivote, deben comprobarse en la práctica.

Tabla 3: Aplicación de agua según la configuración del Cronómetro de la máquina Western.

Aplicación de Agua (mm)	Configuración del Cronómetro (%)	Velocidad última Torre (m/min)	Tiempo por Revolución (horas)
2.42	100	5.06	5.21
2.69	90	4.55	5.79
3.02	80	4.05	6.52
3.45	70	3.54	7.45
3.72	65	3.29	8.02
4.03	60	3.04	8.69
4.39	55	2.78	9.48
4.83	50	2.53	10.43
5.37	45	2.28	11.59
6.04	40	2.02	13.04
6.91	35	1.77	14.90
8.06	30	1.52	17.38
9.67	25	1.26	20.86
12.09	20	1.01	26.07
16.11	15	0.76	34.76
20.14	12	0.61	43.45
26.86	9	0.46	57.94
40.28	6	0.30	86.90
80.57	3	0.15	173.81

Medición de la tensión de humedad en el suelo

Se determinó la tensión de humedad del suelo a partir del 7 de enero de 2010 mediante el método de la observación, con el fin de calibrar el balance agrometeorológico. Tres tensiómetros fueron colocados a una profundidad de 20 cm (para decidir el momento del riego) y los tres restantes a una profundidad de 40 cm (para chequear si existe sobre humedecimiento cuando se riega), los tensiómetros fueron preparados antes de instalarse en el campo como refleja la bibliografía consultada (Megh, 2002). Se usó agua hervida para evitar que el aire disuelto interfiera en la lectura, también se añadió detergente al agua para evitar el crecimiento de algas, bacterias y otro organismo dentro del tensiómetro. Se abrieron orificios en el perfil del suelo, para lo cual se empleo una barrena agrológica marcada a las profundidades deseadas, se preparó una pasta de agua y tierra, la cual, se añadió a la base de los tensiómetro después de colocarlos en los orificios correspondientes para que las cápsulas porosas tuvieran un buen contacto con el suelo como aparece en

la figura 3. Se estableció según la experiencia de años anteriores y la consulta bibliográfica (Soboh *et al.* (2000)) que debe regarse la papa a tensiones de 40-50 centibares.

Las muestras de suelo y los tensiómetros monitoreaban el 3er cuadrante del área de la máquina de riego por su cercanía y acceso, luego, las indicaciones de inicio del riego se realizaban teniendo en cuenta que la máquina siempre comienza por el primer cuadrante.

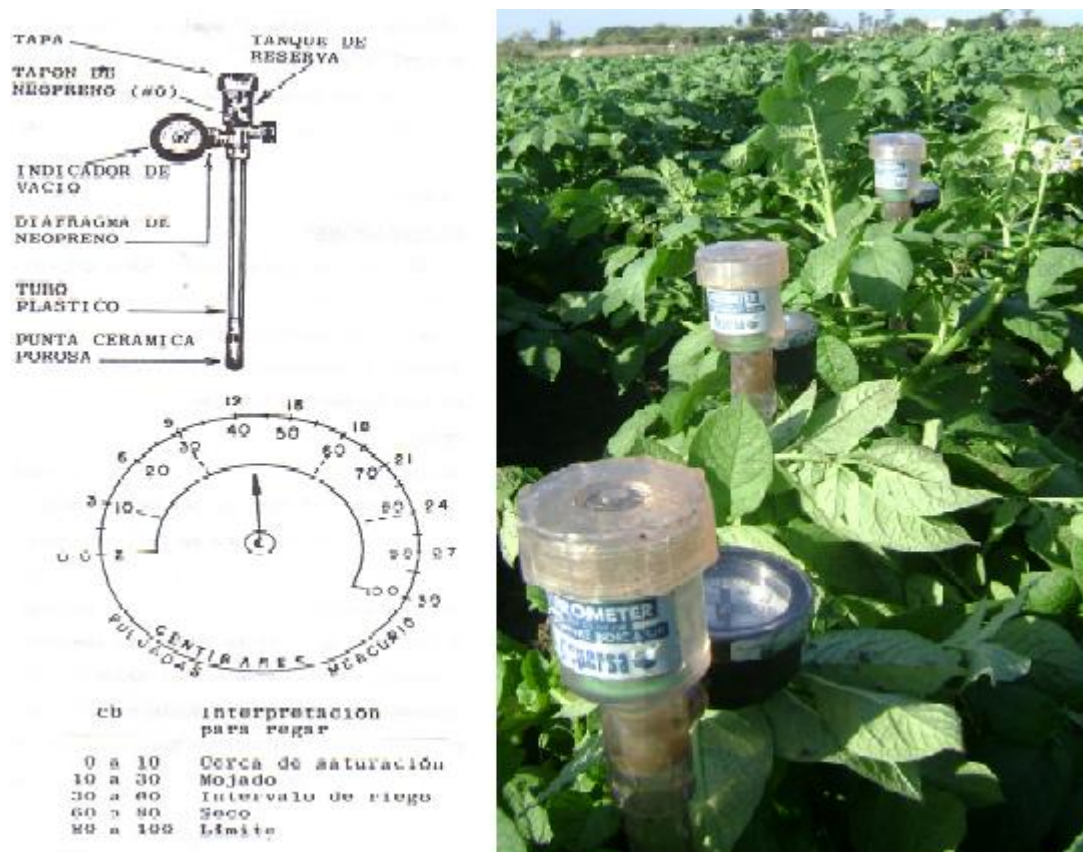


Figura 3: Características y instalación del tensiómetros.

Determinación de la humedad del suelo.

Se evaluó la humedad presente en el suelo por el método gravimétrico cada 10 cm, desde la superficie del suelo, hasta 40cm de profundidad, con una frecuencia de 1 ó 2 veces en la semana en los meses de enero, febrero, y marzo. La muestra de suelo se tomó con una barrera agrológica con tres replicas. El valor de la humedad del suelo determinada mediante muestreo

gravimétrico, se usó para calibrar el modelo de balance agrometeorológico y chequear el valor real de la humedad del suelo.

Atendiendo a la revisión bibliográfica realizada se asumió un límite productivo del cultivo en el suelo en estudio, del 80-85% de la capacidad de campo, tanto para la operación del riego, como en el balance hídrico realizado a partir de datos agrometeorológico.

Balance Hídrico Agrometeorológico.

El balance hídrico agrometeorológico se realiza según el modelo que aparece en el tabla 4. El modelo de balance que se presenta en la tabla 4 opera de la siguiente manera: la evapotranspiración de referencia (E_{to}) se recibe diariamente de la estación agrometeorológico ubicada en el Valle de Yabú, la evapotranspiración del cultivo (E_{tc}) se obtiene al multiplicar E_{to} por el coeficiente bioclimático (K_c) obtenido este último de los trabajos de Roque (1995) en el IIRD y que se han venido ajustando. La capa activa (H) del suelo se ha estudiado en las condiciones del cultivo en el Yabú y según la fase fenológica se coloca su valor en el modelo. La reserva máxima (R_{max}) se calcula por la fórmula # 1 la que puede variar para diferentes fechas. La reserva presente de agua en el suelo (W_p) varía constantemente y para calcularla se realiza un balance diario del agua en el suelo por la fórmula No. 2

Tabla 4. Modelo de balance hídrico diario.

MES: _____

Cap. Campo del Suelo (CC)=

Densidad aparente del suelo (Da) =

Cultivo =

Entidad administrativa=

Wmax = 10.H. Da .CC...mm

Límite mínimo de humedad (% CC) =

Fecha de siembra o plantación=

Nombre de la maquina de riego=

	Eto	Kc	Etc	H	Wmax	Wp	Pc	Pa	Dfp	Dfmax	NR	Regulación
Di a	Eto Penm Montei th mm	Kc	Etc. mm	Capa activa de suelo m	Reserva de agua máxima mm	Reserva de agua presente mm	Lluvia caída mm	Lluvia Aprov. mm	Déficit hídrico presente en el suelo mm	Déficit hídrico máximo mm	Necesit a riego según balance	%cronometr o y lamina aplicada mm
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1												
2												

La lluvia caída (Pc) se considera aprovechable a partir de 5 mm, porque para valores inferiores prácticamente es retenida por los tallos y follajes, con pobre efecto en la variación de la humedad del suelo. El valor de la lluvia aprovechada (Pa) se define por la diferencia que existe entre Wmax y Wp en el día que se produce la lluvia, aquella parte de la lluvia caída que supera el valor de Wmax-Wp se considera no aprovechada porque no puede ser retenida por el suelo. El déficit presente (Dfp) de agua en el suelo se calcula diariamente como la diferencia entre Wmax y Wp, de modo que la lluvia aprovechada en cada precipitación no podrá ser mayor que el déficit presente en ese día. El déficit máximo (Dfmax) de agua en el suelo queda establecido por la diferencia entre el valor de la capacidad de campo del suelo y el límite productivo de humedad expresados como reserva de agua. La necesidad de riego se expresa en el modelo colocando doble xx en la columna 11 cuando el déficit presente (Dfp) esta muy próximo al valor del déficit máximo (Dfmax). Cuando en el campo se aplica un riego real, en la columna 12 se anota en la fila correspondiente al día en que se rego el cuadrante control la configuración porcentual que tenia el cronometro de la maquina y la lamina neta de riego que se aplicó.

$$R_{max} = 10 \cdot H \cdot D_a \cdot CC \dots \text{mm} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

- H- Capa activa de suelo en m.
- Da- Densidad aparente del suelo g/cm^3
- CC- Capacidad de campo del suelo en % de peso de suelo seco.

$$Wp_n = Wp_{n-1} + Pa + R - \text{Etc} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

- Wp_n – Reserva de agua presente el día n en mm.
- Wp_{n-1} - Reserva de agua presente el día n-1 en mm.
- R- Lámina de riego neta aplicada en el campo en mm.

Evaluación del lavado de la máquina

Se realizó un muestreo del contenido de N-amoniaco en el agua de riego en diferentes momentos después de concluir la fertirrigación para determinar el tiempo necesario para el lavado, ya que el lavado de la máquina es un problema en la organización del trabajo. Para realizar esta actividad se precisaron 3 momentos; Una primera evaluación antes de la fertilización con urea, para comprobar la concentración de Amonio (NH_4^-) del agua de la fuente sin fertirrigar, en cada momento se tomaron tres muestras de agua en pomos de 500 ml al inicio, medio y final de la longitud del pivote, en un segundo momento se tomaron tres muestras de agua 500 ml durante el fertirriego, para determinar la concentración de urea que se estaba aplicando, al finalizar el fertirriego se muestreó el agua en el proceso de lavado de la máquina que tuvo lugar en la guardarraya como está indicado por Gonzalez.et al., (2000) para lo cual se tomaron 3 muestras de agua en pomos de 500 ml, en intervalos de tiempo de 10 minutos, y hasta 30 minutos después de iniciado el lavado, con lo que se pretende concluir qué tiempo es necesario para que la máquina de pivote central quede limpia después de la fertirrigación.

Calculo de la dosis de inyección del fertilizante

La máquina de pivote central cuenta con un dosificador de fertilizante líquido Modelo MF 2-200 de la marca ITC capaz de inyectar hasta 200 L/h a una presión de 8 bares y un tanque para la preparación de la solución con un agitador ITC con turbina de seis chorros (tres radiales y tres axiales para remover el fondo).

Una adecuada operación de un sistema de fertirrigación requiere la calibración del riego y del sistema de inyección el cual involucra los siguientes aspectos: Determinar el área que va a ser tratada, determinar la cantidad de fertilizante que va ser aplicado por hectárea, Calcular la dosis de fertilizante que va ser aplicado, Determinar el tiempo de inyección en horas, Seleccionar la composición química a utilizar y la concentración de la mezcla, Fijar la dosis de flujo en el inyector.

La dosis de inyección puede ser calculada utilizando la siguiente formula si todos sus parámetros son conocidos:

$$D_i = \frac{Q_c \times A}{C \times T} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

D_i = Dosis de inyección del fertilizante en L /min.

Q_c = Cantidad de fertilizante aplicar en el área en Kg/ha.

A = Área en ha.

C = Concentración de la solución inyectada en kg /L

T = Duración de la inyección en min

Según González et al., (2000) la aplicación de Urea foliar al cultivo de papa debe hacerse en cuatro aplicaciones conforme aparece en la tabla 5.

Tabla 5. Distribución de la urea en el fertirriego en el cultivo de la papa.

No. de Aplicación	Momento de la Aplicación.	Dosis a Aplicar		% de la Dosis.
		Ton / Cab.	Kg./ha	
1	30 -35 días	0.45	33.53	15
2	35 -40 días.	1.05	78.24	35
3	40-45 días.	1.05	78.24	35
4	45-50 días	0.45	33.53	15
TOTAL		3.0	223.54	100

Evaluación de la masa seca de los tubérculos.

La masa seca de las plantas fue evaluada al principio de la fase de maduración con intervalo de 15 días para determinar el incremento en la acumulación de la misma. Para ello se analizaron 3 plantas que fueron arrancadas y sus tubérculos llevados al laboratorio (1tuberculo por planta). Se tomó una muestra de cada órgano fresco que tuvieron pesos conocidos (peso fresco de la muestra, P.F_m). Se colocó dicha muestra a temperatura de 100 grados durante una hora para matar todos los sistemas enzimáticos, pasado ese tiempo se graduó la estufa a 70 grados durante 48 a 72 horas hasta peso constante después Sacaron las muestras de la estufa y se colocaron en una cámara desecadora hasta que se refrescaron. Se pesaron las muestras secas (PSm) y se determinó el porcentaje de masa seca. (Vázquez, 1995).

$$M.S = \frac{PSm \cdot 100}{P \cdot Fm} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

- M.S: Porcentaje de masa seca en %.
- PSm: Peso seco de la muestra.
- PFm: Peso fresco de la muestra.

Evaluación de las plantas en fase de crecimiento

Se evaluó la población mediante el conteo de las plantas existentes en tres segmentos de surcos de 40m en cada cuadrante.

Rendimiento Agrícola.

El rendimiento de las 20.13 ha de la maquina se calculo según la producción total de los cuatro cuadrantes entregada a ACOPIO. No obstante, como se conocía que dos cuadrantes tendrían bajos rendimientos, afectados por pudriciones debidas al exceso de humedad por razones de drenaje deficiente y baja población, se marcaron en el cuadrante tres, cuatro replicas de parcelas de 2.5 m de largo y de un surco de ancho para pesar la producción por planta y estimar el rendimiento en una área sin problemas de drenaje una semana antes de la cosecha como aparece en la figura 4.

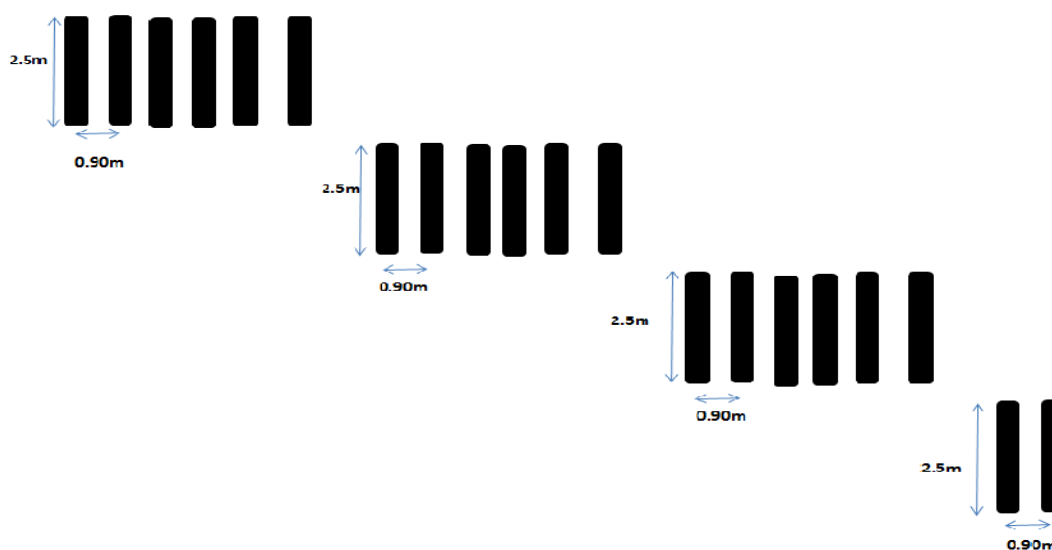


Figura 4. Diseño de las microparcels para la estimación de rendimiento.

RESULTADOS Y DISCUSION

Evaluación pluviométrica.

La evaluación realizada en la campaña presente a la maquina de riego aparece en el anexo No. 1 Los resultados fundamentales aparecen en la tabla 6.

Tabla 6: Resultados de la evaluación de la pluviometría de la maquina del campo-14.

Parámetros de la evaluación.	Fase de Brotación y Establecimiento
Lámina de agua requerida según el regador (mm)	12.09
Regulación de la máquina (%)	16
Velocidad de la última torre(m/min)	1.2
Lámina Media Ponderada Aplicada (mm)	12.3
Coefficiente de Uniformidad Ponderada (%)	86.7

Los resultados de la evaluación obtenida indican que la maquina cumplió con los requisitos indicados en el catálogo referente a la pluviometría, la lamina de riego requerida por el operador en la evaluación según el catálogo a la regulación de 16% era de 12.09mm y la maquina aplicó una media ponderada de 12.3mm, o sea, un 2% más de agua con una velocidad de viento de 3.87m/s la que resultó alta para la evaluación de uniformidad que no debía superar 1.0 m/s. El coeficiente de uniformidad, puede considerarse bueno según Montero et al. (2005). La distribución de las boquillas fue correcta según la carta del fabricante, pero en el funcionamiento, el primer tramo de la máquina a partir del pivote las boquillas aplican mucha agua, eso puede verse en el anexo No.1.esto pudriera deberse a que el fabricante ubica al inicio boquillas con un diámetro de salida que debe ser menor.

Capa activa del cultivo.

Resultados anteriores del estudio la capa activa del suelo por fase de desarrollo se muestran en la tabla 7 según Pérez (2009), no obstante, los estudios que en esta cosecha realizamos demuestran que en la fase de engrosamiento la mayor parte de las raíces no supera la profundidad de 25 cm. En la foto (a), de la figura 5 se observa el suelo en sus dos primeros horizontes y en la foto (b), se observa el sistema radical de una planta en la fase de crecimiento con la mayor parte de las raíces hasta 20 cm. La lámina de agua aplicada en cada riego siempre debe llegar a profundidades donde se encuentra el 80% de las raíces del cultivo (capa activa) cuando ya tiene un sistema radical establecido. Debe tenerse en cuenta que cuando se construye el cantero el horizonte de suelo pardo oscuro se incrementa. En esta campaña la preparación de suelo no fue buena y esa puede ser la explicación de una capa activa menor, pues después de 25 cm el suelo estaba muy compacto.



(a)



(b)

Figura 5. a) Muestra el perfil del suelo del campo 14. b) Sistema radical del cultivo en la fase de crecimiento después de la brotación.

Tabla 7. Capa Activa en las diferentes fases de desarrollo del cultivo.

Fases de desarrollo	Capa Activa (cm)	
	Según Pérez (2009)	Según este estudio
Plantación-Emergencia	20	20
Crecimiento-Tuberización	25	25
Engrosamiento del tubérculo	30	25
Maduración	30	25

En la figura 6, se observan dos fotos del sistema radical de plantas de papa en la fase de engrosamiento del tubérculos, en las mismas puede apreciarse que el mayor porcentaje de las raíces no rebasa los 25cm de profundidad.



Figura 6. Profundidad radical del cultivo de la papa en la fase de engrosamiento del tubérculo.

Atendiendo a lo planteado sobre la capa activa, las normas parciales netas que deben aplicarse en las diferentes fases se calculan por la ecuación siguiente:

$$Mpn = 10 * H * Da * (CC-Lp) \dots mm \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

H= Capa Activa de suelo en m.

Da= Densidad aparente del suelo g/cm³.

CC= Capacidad de Campo %ss.

Lp= Limite productivo de humedad % ss (se asume 80% de CC)

La norma parcial bruta tiene en cuenta la eficiencia de la tecnología de riego y se calcula por la relación siguiente:

$$Mpb = Mpn/Ef * 100$$

Donde:

Ef =Eficiencia de riego del sistema la cual se asume como 90%.

Plantación-Emergencia.

$$Mpn = 10 * 0.2 * 1.0 * (50 - 40) = 20 \text{ mm}$$

$$Mpb = 20 / 90 * 100 = 22.2 \text{ mm.}$$

Crecimiento-Tuberización-

$$Mpn = 10 * 0.25 * 1.0 * (50 - 40) = 25 \text{ mm}$$

$$Mpb = 25 / 90 * 100 = 27.8 \text{ mm}$$

Engrosamiento de los tubérculos y Madurez.

$$Mpn = 10 * 0.25 * 1.0 * (50 - 40) = 25 \text{ mm}$$

$$Mpb = 30 / 0.9 = 27.8 \text{ mm}$$

La regulación de la máquina por fases de desarrollo para que aplique la norma parcial bruta calculada es la que aparece en la tabla 8 según la ecuación de ajuste encontrada por Pérez (2009).

Tabla 8. Regulación requerida de la máquina por fases de desarrollo.

Fases de Desarrollo	Regulación de la máquina %
Plantación-Emergencia	10.9
Crecimiento -Tuberización	8.7
Engrosamiento del Tubérculo	8.7
Maduración	8.7

Las regulaciones de la maquina que aparecen en la tabla 8 corresponden a la lamina de agua a regar en diferente fases de desarrollo del cultivo. En la tabla 9 se muestran la fecha, lámina de agua aplicada y la fase del cultivo según lo real ejecutado en el riego por la UBPC # 2, en el Campo 14, de la ECV "Valle del Yabú".

Tabla 9. Fecha, intervalos de riego, lámina de agua y fases del cultivo.

No de orden de los riegos	Fecha de la actividad	Intervalo entre riegos (días)	Lámina de agua bruta aplicada por la máquina. (mm)	Fase fenológica del cultivo.
	(11-26)-Dic-2009	Mine	48.4	
1	06-01-2010	-	22.2	Plantación-brotación
2	13-01-2010	6	22.2	
3	25-01-2010	11	27.8	Crecimiento-tuberización
4	11-02-2010	16	27.8	
5	17-02-2010	5	16.11	Engrosamiento
6	05-03-2010	15	16.11	
7	10-03-2010	4	12.09	
8	18-03-2010	7	9.67	Maduración
9	20-03-2010	1	9.67	
Media total		7.2	212.05mm incluyendo el mine	

Es necesario aclarar que aunque siempre se asesoró a la UBPC sobre la magnitud de la lámina de agua y el momento de aplicación de los riegos, hubo ocasiones en que tomaron decisiones diferentes a las sugeridas. Fueron aplicados 9 riegos, sin contar el mine que fue realizado a partir del día 11 al 26 de diciembre de 2009 con una regulación de 5% aplicando una lamina bruta de 48.4mm de agua. Los riegos desde el día 6 de enero de 2010 hasta el día 11 de febrero fueron realizados según la etapa de desarrollo del cultivo y siguiendo la capa activa del suelo. A partir del día 17 de febrero al día 20 de marzo no siguieron este criterio de aplicar la cantidad de agua que correspondía a la fase de cultivo de que era de 25 mm debido a las condiciones del suelo tras las fuertes lluvias de 22 a 24 de febrero (70.6mm) y 21 y 22 de marzo (67.4mm), las cuales originaron encharcamiento en el campo y también debido a esto, podemos notar que algunos intervalos de riego son muy elevados (hasta 16 días). Pero el promedio de los intervalos de los riegos de 7.2 días es muy adecuado para los suelos arcillosos. La Norma Total Bruta de Riego aplicada a la papa incluido el mine fue de 212.05 mm

Estudio de la tensión de humedad del suelo.

En las Figuras 7, 8 y 9 se muestran las tensiones de humedad en el suelo del Campo 14 de la UBPC # 2 en los meses de Enero, Febrero y Marzo respectivamente.

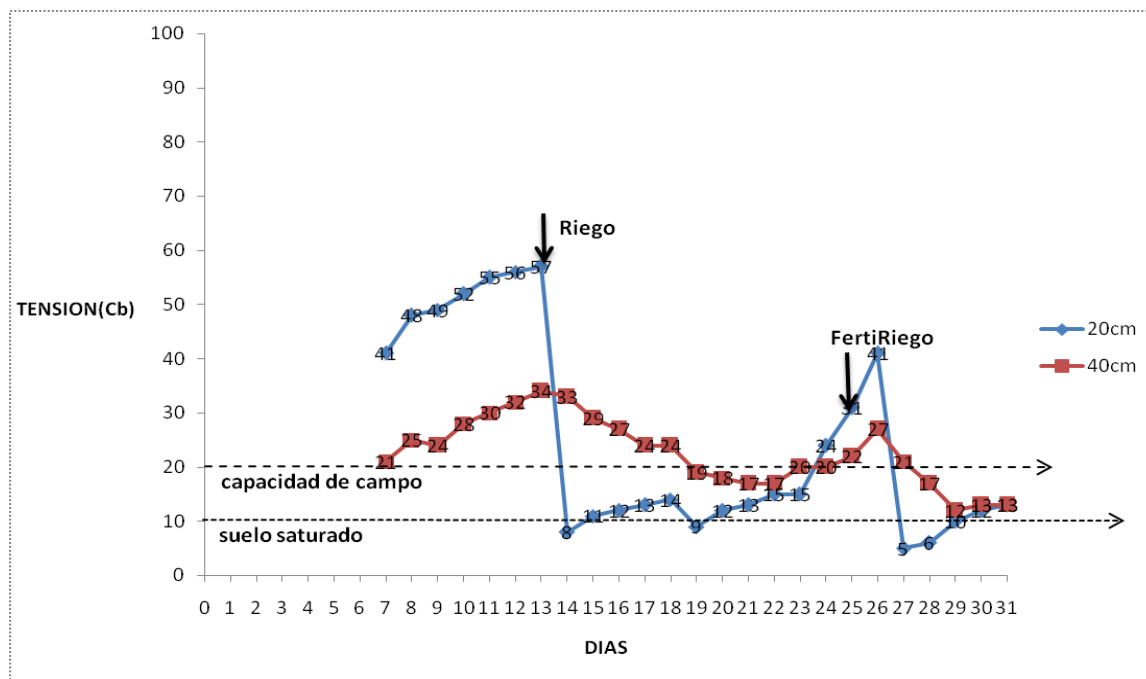


Figura 7. Tensión en centibares (Cb) de la humedad en el suelo en el mes de Enero 2010.

En la figura 9, las tensiones de humedad en el suelo son más altas en la capa de 0-20cm comparadas con la de 20-40cm. Los tensiones de 0-20cm al inicio del mes eran altas con valores de 41cb a 57cb lo que demuestra que después del riego del 6 de enero el suelo en la capa 0-20 se mantuvo con déficit de humedad acumulado después del mine. Después del riego del día 13 las tensiones bajaron a un nivel de capacidad de campo y se mantuvieron así hasta el día 23 debido a las lluvias de los días 17 y 18 con valores de 18.7mm de los cuales el suelo aprovechó 5.1mm. Subieron de nuevo los tensiones a partir de día 24 hasta valores de 31 cb y después del fertirriego del día 25 bajaron las tensiones de nuevo a capacidad de campo.

Las tensiones de la capa de 20-40 cm se mantuvieron en valores por debajo de 35cb, lo que indica que había buena humedad en la misma, la cual, conservaba aun la humedad producto del "mine" que aportó 48.4mm.

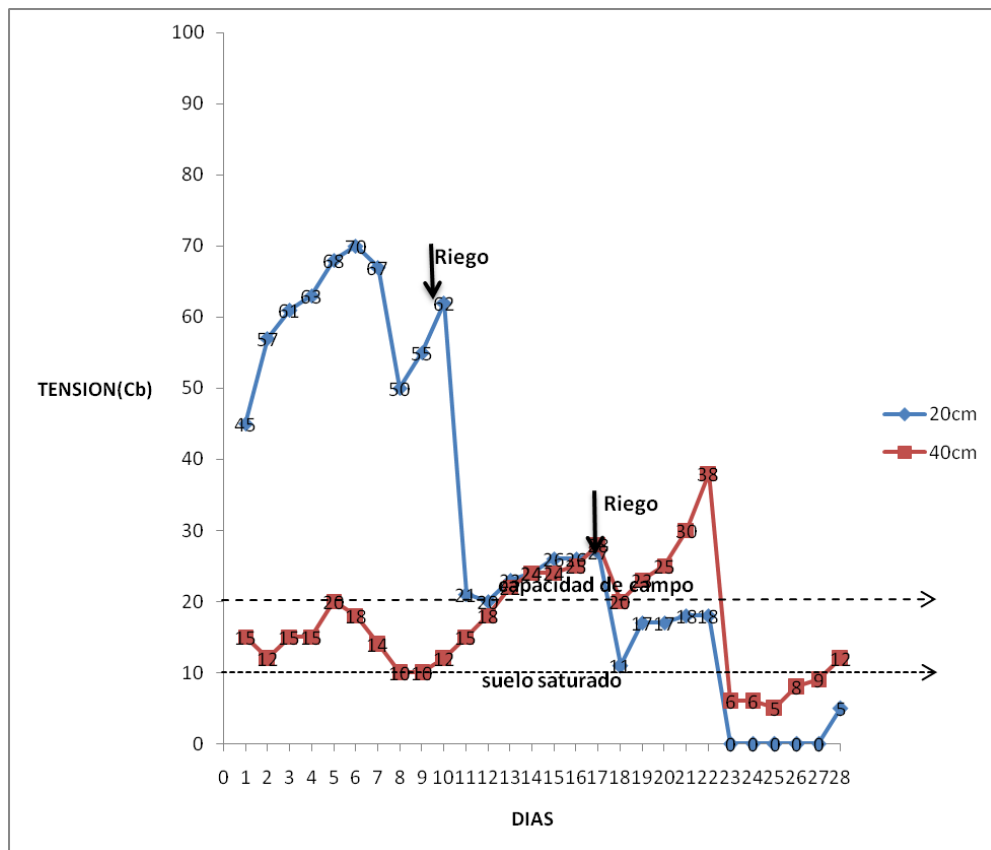


Figura 8. Tensión en centibares (Cb) de la humedad en el suelo en el mes de Febrero 2010.

En la figura 10, las tensiones al inicio del mes de la capa de 0-20cm se presentan altas alcanzando los valores de 70 cb el día 6 de febrero y en la capa de los 20-40cm no superaban el valor de capacidad de campo. Aunque llovió el día 6 no cambió las tensiones porque era una lluvia de 10mm que no podía cubrir el déficit que había en el suelo. El riego del día 11 bajo las tensiones a capacidad de campo (20 cb) y se mantuvieron allí con el aporte de las lluvias del día 12 de 8.6mm de los cuales aprovecharon el 100%. El día 17 se aplicó un riego que era innecesario porque las tensiones eran de 27cb y después de este riego cayeron lluvias continuadas que sumaron 70.6mm en los días 22,23 y 24 donde se aprovecharon solo 17.9 mm y las tensiones bajaron a 0 cb (saturación), estas lluvias causaron encharcamiento en el campo durante 5 a 6 días, las cuales, favorecieron la aparición de pudrición blanda bacteriana (*pectobacterium carotovora* pv *carotovora*) y la pierna negra

(*Pectobacterium carotovora* var. *atrosepticum*), las cuales, afectaron bastante las plantas

Las tensiones en la capa 20-40 cm se mantuvieron por debajo de los 40cb las más altas fueron de 38cb, lo que nos indica que esta capa estaba bien humedecida.

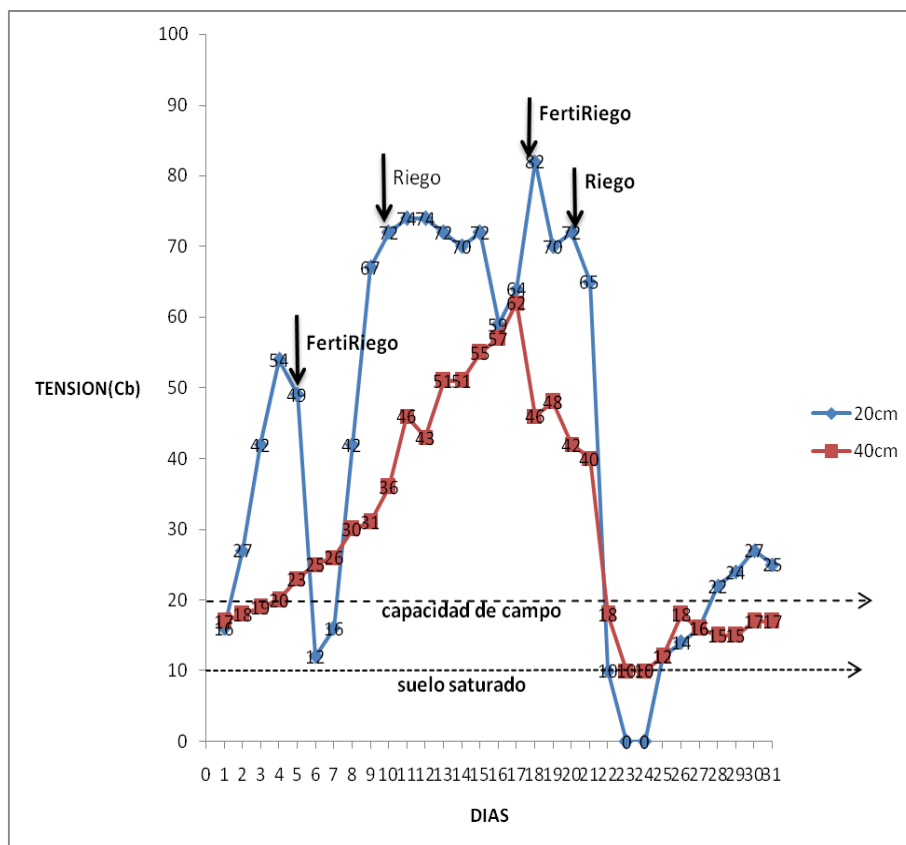


Figura 9. Tensión en centibares (Cb) de la humedad en el suelo en el mes de Marzo 2010.

En la figura 9, las tensiones de la capa de 0-20cm fueron elevadas y mayores que las de la capa 20-40cm. Las tensiones de 0-20cm comenzaron el mes en un nivel bajo, pero subieron hasta 54 Cb antes de la fertirrigación del día 5 de marzo, después de la cual, bajaron nuevamente a capacidad de campo y a partir del día 7 subieron exponencialmente hasta valores tan altos como 74cb. Un riego de 12 mm que se aplicó el día 10 de marzo no logró bajar las tensiones porque la lámina de agua aplicada no fue suficiente para cubrir el déficit que había en el suelo. El día 18 fertirrigaron y dos días después (20) regaron pero no bajaron las tensiones al añadir en cada día 9 mm de agua.

Los días 21 y 22 cayeron 67.4mm, de los cuales se aprovecharon 45.4mm, esta lluvia aprovechada indica el estrés hídrico a que estaba sometido el suelo, pero a su vez los suelos pesados no pueden infiltrar grandes volúmenes de agua en poco tiempo debido a su pobre permeabilidad, resultando en encharcamientos en el campo que también afectaron las actividades de cosecha a inicios de abril.

Variación de la humedad del suelo.

En la figura 10 se muestra la variación de la humedad del suelo durante el ciclo vegetativo del cultivo.

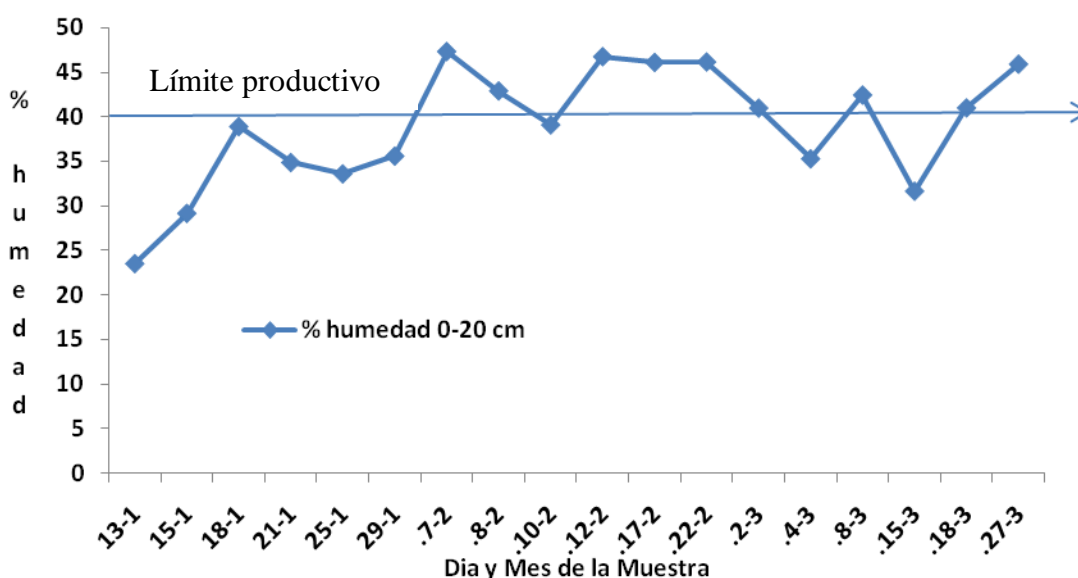


Figura 10. Variación de la humedad del suelo.

Las muestras de humedad se tomaron generalmente cuando el suelo estaba con tenores de humedad por debajo de la capacidad de campo, pues mayores valores incluyen agua libre que introduce errores en los datos. En el mes de enero se puede apreciar que los valores de humedad en el suelo son por debajo del límite productivo alcanzando valores de 23% a una profundidad de 20cm por existir un déficit de humedad acumulado después del mine. A partir de los riegos efectuados en enero la humedad ascendió como puede verse en la muestra del 18 de enero. Estos resultados coinciden con los de la tensión de humedad del suelo para el mismo mes en la figura 7.

La humedad del suelo en el mes de Febrero aparece baja en los primeros días, en el resto del mes las muestras indican valores de humedad alrededor del

límite productivo y a partir del 22 de febrero el campo se mantuvo saturado, aunque no se observa en la figura 11 producto de las lluvias de los días 22, 23 y 24.

En el mes de marzo los valores de la humedad se mantuvieron por debajo del límite productivo antes del riego del 5 de marzo debido a la falta de agua por una decisión que tomó la UBPC para no regar la cantidad de agua que necesitaba el cultivo y a su tiempo. La muestra tomada el día 18 informa de una humedad muy cercana al límite productivo, la cual, no coincide con la lectura del tensiómetro, que ofrece altas tensiones. Esto se debe, a que la muestra de humedad se tomó el día 18 después del riego que fue con una lámina neta de 8.7 mm (muy pequeña), luego en la muestra se aprecia alta humedad en la capa 0-10cm que al promediarse con valores más bajos de la capa 10-20 cm da lugar a que la curva de la figura 11 muestre la humedad en límite productivo el día 18, pero el tensiómetro que monitoreaba la humedad a 20cm de profundidad con razón señala tensiones del orden de 80 cb . El día 27 se muestra un porcentaje de humedad bien por encima del límite productivo debido a las lluvias de los días 21 y 22 con total de 67.4mm que además dificultaron el inicio de la cosecha de los tubérculos a principios de abril.

Balance del agua en el suelo por métodos agrometeorológico.

El balance hídrico fue realizado en los tres meses aunque se comenzó a mediados de enero por no contar inicialmente con datos meteorológicos para calcular la evapotranspiración de referencial desarrollo del cultivo. Los resultados aparecen en las tablas 10, 11 y 12 en ellas podemos deducir lo siguiente: En enero el sistema de balance hídrico predijo con exactitud la fecha necesaria de riego del día 25, lo cual concuerda con la lectura de los tensiómetros. Después del 25 de enero el balance indica que no eran necesarios más riegos y así también lo indicaron los tensiómetros.

En febrero el modelo de balance señala la necesidad de riego a partir del día 4, sin embargo los tensiómetros indicaban altas tensiones desde el primer día de febrero, esta falta de coincidencia demuestra que los coeficientes k_c deben ser reajustados a valores ligeramente mayores para que reflejen el real consumo

de las plantas y así se hará para la próxima campaña. El déficit hídrico elevado en el suelo se mantuvo incluso después de la lluvia (10 mm) del día 6 de febrero, pero la UBPC no regó porque había choques entre el riego y labores de cultivo. El primer riego del mes (25 mm) se aplicó el día 11, pero ya el déficit acumulado era de 30 mm. El día 17 de febrero se aplicó un riego innecesario demostrado también por las lecturas de los tensiómetros. Las lluvias caídas los días 22, 23 y 24 de febrero mantuvieron en saturación el suelo casi hasta el final del mes.

En marzo se destaca que se reporta un gran déficit de humedad en el modelo entre el 11 y el día 20 de ese mes, lo cual, coincide con altas tensiones en la profundidad de 20 cm. Los riegos efectuados los días 5, 10, 18 y 20 de marzo se aplicaron con láminas de agua muy pequeñas y siempre dejaron varios milímetros de déficit de agua sin cubrir.

El riego de fertirrigación del día 18 con lámina de agua muy pequeña no resolvió el problema y por eso se aplicó otro el día 20 lo que significa una vuelta adicional de la máquina y una profundización innecesaria de la huella lo que puede verse en fotos en el Anexo 2. Finalmente las lluvias que cayeron los días 21 y 22 de marzo lograron resolver el déficit de humedad que se mantuvo durante casi todo el mes por no querer la UBPC aplicar láminas de agua mayores.

Como resultado general del ciclo vegetativo puede notarse de la tabla 11 que la precipitación total fue de 189.2 mm, de los cuales se aprovecharon 87.02 mm (46%), se aplicó una Norma Total Neta de 147 mm en 9 riegos. Dado los déficits que se mantuvieron en algunos periodos consideramos que las aplicaciones de agua por riego debieron tener valores mayores, lo que concuerda con los resultados de Roque (1995).

Tabla 10. Balance hídrico agrometeorológico del mes de Enero 2010.

Mes: Enero 2010												
Capacidad de Campo del Suelo (CC) = 50 %						Densidad aparente del suelo (Da) =1.0 g/cm ³						
Cultivo = Papa						Entidad administrativa= UBPC No. 2						
Límite mínimo de humedad (% CC) = 80 %						Fecha de plantación= 28- 12-2009						
Modelo de la máquina de riego= Western						Área en hectáreas que riega la máquina= 20.13						
Nombre de la variedad de papa= Santana						Eficiencia de riego de la máquina(valor decimal)=0.90						
Día	Eto mm	Kc	Eto mm	H m	Wmax mm	Wp Mm	Pc mm	Pa mm	Dfp mm	Dfmax mm	NR y lámina real aplicada	Regulación máquina en %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1												
2												
3												
4							0.1	0				
5												
6											20	10.9
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13	1.58	0.72	1.14	0.2	100	100			0	20	20	10.9
14	1.61	0.72	1.16	0.2	100	98.8			1.2	20		
15	2.97	0.72	2.14	0.2	100	96.7			3.3	20		
16	2.51	0.72	1.81	0.2	100	94.9			5.1	20		
17	3.02	0.72	2.17	0.2	100	97.8	16.4	5.1	2.2	20		
18	2.6	0.72	1.87	0.2	100	95.9	2.3	0	4.1	20		
19	2.55	0.72	1.84	0.2	100	94.1			5.9	20		
20	2.67	0.72	1.92	0.2	100	92.2			7.8	20		
21	3.21	0.72	2.31	0.2	100	89.9			10.1	20		
22	3.7	0.72	2.66	0.2	100	87.2			12.8	20		
23	3.35	0.76	2.55	0.2	100	84.7			15.3	20		
24	3.91	0.76	2.97	0.25	125	101.7			23.3	25	XX	
25	3.7	0.76	2.81	0.25	125	125.0	0.1	0	0.0	25	25	8.7
26	1.88	0.76	1.43	0.25	125	123.6			1.4	25		
27	3.78	0.76	2.87	0.25	125	120.7			4.3	25		
28	3.59	0.76	2.73	0.25	125	118.0			7.0	25		
29	3.33	0.76	2.53	0.25	125	115.4			9.6	25		
30	3.18	0.76	2.42	0.25	125	113.0			12.0	25		
31	3.21	0.76	2.44	0.25	125	110.6			14.4	25		
Suma de Enero							18.9	5.1			65	3 Riegos
XX - Significa que debe regarse.												

Tabla 11. Balance hídrico agrometeorológico del mes de Febrero 2010.

Mes: Febrero 2010												
Capacidad de Campo del Suelo (CC) = 50 %					Densidad aparente del suelo (Da) =1.0 g/cm ³							
Cultivo = Papa					Entidad administrativa= UBPC No2							
Límite mínimo de humedad (% CC) = 80 %					Fecha de plantación= 28- 12-2009							
Modelo de la máquina de riego= Western					Área en hectáreas que riega la máquina= 20.13							
Nombre de la variedad de papa= Santana					Eficiencia de riego de la máquina(valor decimal)=0.90							
Día	Eto	Kc	Etc	H	Wmax	Wp	Pc	Pa	Dfp	Dfma	NR y lámina real aplicada Mm	Regulación máquina en %
	mm 1	2	mm 3	m 4	mm 5	mm 6	mm 7	mm 8	mm 9	mm 10	Mm 11	% 12
1	3.43	0.76	2.6	0.25	125.0	108.0			17.0	25.0		
2	3.52	0.8	2.8	0.25	125.0	105.2			19.8	25.0		
3	3.54	0.8	2.8	0.25	125.0	102.3			22.7	25.0		
4	3.66	0.8	2.9	0.25	125.0	99.4			25.6	25.0	XX	
5	4.09	0.8	3.3	0.25	125.0	96.1			28.9	25.0	XX	
6	1.34	0.8	1.1	0.25	125.0	105.1	10.0	10.0	20.0	25.0		
7	3.61	0.8	2.9	0.25	125.0	102.2			22.8	25.0		
8	3.54	0.8	2.8	0.25	125.0	99.3			25.7	25.0	XX	
9	2.86	0.8	2.3	0.25	125.0	97.0			28.0	25.0	XX	
10	2.98	0.8	2.4	0.25	125.0	94.7			30.3	25.0	XX	
11	3.44	0.8	2.8	0.25	125.0	116.9			8.1	25.0	25.0	8.7
12	4.37	0.9	3.9	0.25	125.0	121.6	8.6	8.6	3.4	25.0		
13	3.44	0.9	3.1	0.25	125.0	118.5			6.5	25.0		
14	3.21	0.9	2.9	0.25	125.0	115.6			9.4	25.0		
15	3.26	0.9	2.9	0.25	125.0	112.7	0.9	0.0	12.3	25.0		
16	2.29	0.9	2.1	0.25	125.0	110.6	0.8	0.0	14.4	25.0		
17	3.18	0.9	2.9	0.25	125.0	122.2			2.8	25.0	14.5	15.0
18	2.54	0.9	2.3	0.25	125.0	119.9			5.1	25.0		
19	2.8	0.9	2.5	0.25	125.0	117.4			7.6	25.0		
20	3.17	0.9	2.9	0.25	125.0	114.6	0.1	0.0	10.4	25.0		
21	3.27	0.9	2.9	0.25	125.0	111.6			13.4	25.0		
22	1.44	1.1	1.6	0.25	125.0	125.0	40.1	17.9	0.0	25.0		
23	3.93	1.1	4.3	0.25	125.0	125.0	13.6	0.0	0.0	25.0		
24	3.64	1.1	4.0	0.25	125.0	125.0	16.9	0.0	0.0	25.0		
25	3.07	1.1	3.4	0.25	125.0	125.0			0.0	25.0		
26	3.09	1.1	3.4	0.25	125.0	125.0			0.0	25.0		
27	3.7	1.1	4.1	0.25	125.0	125.0			0.0	25.0		
28	4.09	1.1	4.5	0.25	125.0	120.5			4.5	25.0		
29												
30												
31												
Suma de Febrero							91	36.5			39.5	2 Riegos

Tabla 12. Balance hídrico agrometeorológico del mes de Marzo 2010.

Mes: Marzo 2010													
Capacidad de Campo del Suelo (CC) = 50 %						Densidad aparente del suelo (Da) =1.0 g/cm ³							
Cultivo = Papa						Entidad administrativa=							
Límite mínimo de humedad (% CC) = 80 %						Fecha de plantación= 28- 12-2009							
Modelo de la máquina de riego= Western						Área en hectáreas que riega la máquina= 20.13							
Nombre de la variedad de papa= Santana						Eficiencia de riego de la máquina(valor decimal)=0.90							
Día	Eto	Kc	Etc	H	Wmax	Wp	Pc	Pa	Dfp	Dfmax	NR y lámina real aplicada Mm	Regulación máquina	
	mm 1	2	mm 3	m 4	Mm 5	mm 6	mm 7	mm 8	mm 9	10	11	% 12	
1	3.51	1.1	3.9	0.25	125.0	116.6			8.4	25.0			
2	3.46	1.1	3.8	0.25	125.0	112.8	3.2	0.0	12.2	25.0			
3	3.7	1.1	4.1	0.25	125.0	108.8			16.2	25.0			
4	2.43	1.25	3.0	0.25	125.0	105.7			19.3	25.0			
5	3.34	1.25	4.2	0.25	125.0	116.1			8.9	25.0	14.5	15	
6	3.15	1.25	3.9	0.25	125.0	112.1			12.9	25.0			
7	3.99	1.25	5.0	0.25	125.0	107.1			17.9	25.0			
8	3.26	1.25	4.1	0.25	125.0	103.1			21.9	25.0			
9	3.45	1.25	4.3	0.25	125.0	98.7			26.3	25.0	XX		
10	3.95	1.25	4.9	0.25	125.0	104.8			20.2	25.0	11.0	20.00	
11	4.55	1.25	5.7	0.25	125.0	99.1			25.9	25.0	XX		
12	3.85	1.25	4.8	0.25	125.0	94.3	4.2	0.0	30.7	25.0	XX		
13	3.93	1.25	4.9	0.25	125.0	89.4			35.6	25.0	XX		
14	4.04	1	4.0	0.25	125.0	85.3			39.7	25.0	XX		
15	4.3	1	4.3	0.25	125.0	81.0			44.0	25.0	XX		
16	3.98	1	4.0	0.25	125.0	77.1			47.9	25.0	XX		
17	2.71	1	2.7	0.25	125.0	74.4	1.0	0.0	50.6	25.0	XX		
18	3.46	1	3.5	0.25	125.0	79.6			45.4	25.0	8.7	25.00	
19	3.75	1	3.8	0.25	125.0	75.8			49.2	25.0	XX		
20	4.24	1	4.2	0.25	125.0	80.3			44.7	25.0	8.7	25.00	
21	3.95	1	4.0	0.25	125.0	125.0	43.8	43.8	0.0	25.0			
22	1.62	1	1.6	0.25	125.0	125.0	23.6	1.6	1.6	25.0			
23	3.06	1	3.1	0.25	125.0	125.0			0.0	25.0			
24	3.38	0.9	3.0	0.25	125.0	125.0			0.0	25.0			
25	4.4	0.9	4.0	0.25	125.0	125.0			0.0	25.0			
26	4.56	0.9	4.1	0.25	125.0	120.9			4.1	25.0			
27	4.59	0.9	4.1	0.25	125.0	116.8			8.2	25.0			
28	4.86	0.9	4.4	0.25	125.0	112.4			12.6	25.0			
29	3.86	0.9	3.5	0.25	125.0	108.9	3.50	0.00	16.1	25.0			
30	3.81	0.9	3.4	0.25	125.0	105.5			19.5	25.0			
31	4.37	0.9	3.9	0.25	125.0	101.6			23.4	25.0			
Suma de marzo							79.3	45.42			42.9	4 Riegos	
Totales del ciclo vegetativo							189.2 mm	87.02 mm			147.4mm (En 9 riegos)		
46% de aprovechamiento de las precipitaciones en el ciclo vegetativo													

Fertirrigación.

La fertirrigación (Urea) de la papa con máquinas de pivote central es una práctica de gran importancia en la ECV "Valle del Yabú", la fertirrigación se venía realizando a través de láminas de agua muy pequeñas que no humedecen significativamente el suelo, producen vueltas adicionales de las máquinas de riego que compactan el suelo e incrementan los costos, situación que en este estudio volvió a repetirse en algún momento. El fertilizante debe aplicarse como parte de los riegos programados con las láminas de agua requeridas, las cuales, no producirán pérdida del producto químico porque el agua aplicada quedará almacenada en el suelo. En esta campaña las cuatro aplicaciones de urea no se realizaron todas con la máquina de riego, las dos primeras se aplicaron por surcos con el tractor y fertilizadora y los dos últimos con la máquina de riego, pero aun no siguieron la forma de aplicación que estaba propuesta debido a las condiciones climáticas (mucho lluvia) y del suelo (encharcamientos) que impidieron la realización del fertirriego junto al riego normal.

El inyector de fertilizantes fue calibrado y se aseguró que estaba echando la cantidad requerida de urea en el tiempo estipulado. La UBPC decidió a fertirrigar con la cronometro de la máquina al 15%, eso representa que la máquina necesita 521.4 minutos para regar un cuadrante y se preparó la solución con un volumen de 910 litros para un cuadrante. Para calcular la dosis de inyección por la fórmula 3 para 15% de la dosis de urea, tenemos lo siguiente:

$$Q_c = 33.55 \text{ kg/ha}$$

$$A = \text{Área de un cuadrante, } 5.03 \text{ ha.}$$

$$T = 521.40 \text{ minutos}$$

$$C = 168.75 \text{ kg/cuadrante} / 910 \text{ L/cuadrante} = 0.185 \text{ kg/L}$$

$$D_i = 1.75 \text{ L/min}$$

Una vez conocida la dosis de inyección, se reguló el inyector de la solución del fertilizante con una probeta y un cronómetro para que aplicara 1.75 L/min de la solución.

La aplicación del 35% de la dosis de Urea se realizó con el cronometro de la máquina al 25%. Eso representa 312.9 minutos para fertirrigar un cuadrante. Entonces, haciendo uso de los datos arriba mencionados y lo que establece la tabla 5 tendremos por la fórmula 3:

$$Q_c = 78.24 \text{ kg/ha}$$

A = idem al anterior

$$T = 312.9 \text{ minutos}$$

$$C = 393.54 \text{ kg/cuadrante} / 910 \text{ L/cuadrante} = 0.43 \text{ kg/L}$$

$$D_i = 2.93 \text{ L/min}$$

Ahora corresponde a chequear la concentración de la solución dentro de la maquina para evitar daño al cultivo. Chequearemos la dosis mas alta (2.93 L/Min).

$$\text{Concentración} = D_i / \text{caudal de la máquina.} = 2.93\text{L/ min} / 1656\text{L/min} = 0.0017 \\ =0.17\%$$

En el agua de riego se acepta hasta un 2 % de concentración de Urea (González et al., 2000) de modo que el valor de 0.17% es aceptable.

Fregado de la máquina.

Las muestras de agua recogidas durante el fregado de la máquina de riego a diferentes intervalos de tiempo después de fertirriego y enviado al laboratorio de la Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos (ENAST) para análisis del contenido de N-amoniaco ofrecen los resultados mostrados en la tabla 13.

Según los resultados del análisis de las muestras de agua durante el fregado de la máquina, se observa que la misma queda prácticamente limpia después de 20 minutos de fregada ya que la concentración de iones amonio es semejante a la del agua que viene desde la presa (0.23mg/L).

Con el fregado de la máquina en la guardarraya durante 20 minutos, la máquina queda limpia y evitamos las vueltas innecesarias que favorecen el atascamiento de la misma, compactación de los suelos, gastos de energía y desgaste de las partes móviles.

Tabla 13. Resultados de la análisis de agua durante la fregado de la maquina.

Numero de muestreo.	Descripción del muestreo.	Contenido de NH ₄ (mg/L)	Valor promedio de NH ₄ (mg/L)
1-A	Agua limpia desde presa	0.3	0.23
1-B	Agua limpia desde presa	0.2	
1-C	Agua limpia desde presa	0.2	
2-A	Agua con Urea (durante fertirriego)	4.6	4.10
2-B	Agua con Urea (durante fertirriego)	3.1	
2-C	Agua con Urea (durante fertirriego)	4.6	
3-A	Fregando 10 minutos después.	0.7	0.56
3-B	Fregando 10 minutos después	0.8	
3-C	Fregando 10 minutos después	0.2	
4-A	Fregando 20 minutos después	0.3	0.23
4-B	Fregando 20 minutos después	0.3	
4-C	Fregando 20 minutos después	0.1	
5-A	Fregando 30 minutos después	0.2	0.16
5-B	Fregando 30 minutos después	0.2	
5-C	Fregando 30 minutos después	0.1	

Estudio de la masa seca.

En la masa seca que se encuentra formando parte del vegetal están incluidas disímiles sustancias orgánicas como proteínas almidones, azúcares, lípidos, celulosa, hemicelulosas, lignina, suberinas, alcaloides, ácidos orgánicos etc., sintetizados por el vegetal a partir de los productos primarios, formados en la fotosíntesis y de los nutrientes minerales nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio etc. absorbidos del suelo. La masa secaa expresa el grado de acumulación de una planta, pues representa el aumento de peso y por tanto sirve para medir la capacidad productiva de las plantas. El valor de la masa seca es útil para calcular algunos índices de crecimiento como son: la tasa de asimilación neta, la tasa absoluta del crecimiento y otras que indican el grado de eficiencia en la producción de las plantas. Las evaluaciones de materia seca obtenida se muestran en las tablas 14 y 15.

Tabla 14: Porciento de masa seca en los tubérculos el día 15 de marzo 2010

Planta	Peso fresco (trozo) g	Peso seco (trozo) g	% de masa seca
1	21.877	4.686	21.419
2	22.576	4.912	21.757
3	27.638	6.441	23.304
Valor Medio			22.16

Tabla 15: Porciento de masa seca en los tubérculos el día 1ro de abril 2010.

Planta	Peso fresco (trozo) g	Peso seco (trozo) g	% de masa seca
1	23.0	4.928	21.426
2	21.0	4.759	22.662
3	21.0	4.710	22.429
Valor Medio			22.17

Los resultados del porciento de masa seca obtenida en las dos evaluaciones no muestran diferencia en el incremento de la masa seca de los tubérculos durante el proceso de maduración de la cosecha, lo cual sin dudas afectó los rendimientos cosechados. Los resultados obtenidos se pueden explicar por el hecho de que existieron afectaciones serias por ataque de pulgones en esta fase del cultivo, lo cual, ocasionó la destrucción total del follaje. Este daño, imposibilitó la traslocación de nutrientes desde las partes aéreas de las plantas a los tubérculos, con lo cual, no es posible esperar incrementos de la materia seca y si disminución de los rendimientos. Estos ataques intensos de pulgones se produjeron por tardías aplicaciones de productos fitosanitarios curativos que no llegaron a tiempo a la empresa.

Evaluación de rendimientos.

Una vez cosechados los cuatro cuadrantes el rendimiento obtenido fue de 19.45 t/ha resultado de una producción total de 391.54 t.

Como que se esperaba un bajo rendimiento promedio de la máquina producto de los dos cuadrantes afectados por pudriciones se estimo el rendimiento en cuatro microparcelas del cuadrante tres cuyos resultados aparecen en la tabla 15 Según las estimaciones de campo hecho al principio de la campaña con conteo de la población y al final con muestreo de los pesos de los tubérculos

fueron encontrados los siguientes resultados de rendimiento del campo- 14 dado por tabla 16.

Tabla 16. Estimación de rendimiento de campo- 14.

	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Replica 4
Producción de 10 plantas	9.68 Kg	9.3 Kg	10.59 Kg	7.47 Kg
Producción media por planta	0.968 Kg	0.93 Kg	1.05 Kg	0.747 Kg
Rendimiento medio	43.022 t/ha	41.3 t/ha	47.06 t/ha	33.2 t/ha
Rendimiento promedio de cuatro replicas.	41.15 t/ha			

En la tabla 17 se muestra la población de plantas una vez bien establecida puede anotarse, que los cuadrantes 1 y 4 presentan valores muy bajos, lo que significa que mas del 30% del rendimiento potencial estaba ya perdido.

Tabla 17. Evaluación de la población de plantas en el campo 14 el 12 de Feb-2010.

No. del cuadrante	Número de plantas/surco(40m)			Promedio de plantas en 3 surcos.	% de población.
1	105	104	106	105	65.63
2	142	126	159	142	88.75
3	144	138	135	139	86.87
4	120	112	102	111	69.37

Las microparcels evaluadas en el cuadrante tres presentaron 100% de población, lo cual, no es cierto para todo el tercer cuadrante según se demuestra en la tabla 16. Por esa razón, el rendimiento obtenido en las microparcels que aparece en la tabla 15 fue afectado por la población general en el resto del campo como se muestra en la tabla 18.

Tabla 18: Rendimiento en función de la población del cuadrante tres.

Cuadrante No.	Número de plantas/surco(40m)			Promedio de plantas en 3surcos.	% de población	Rendimiento t/ha
3	144	138	135	139	86.87	35.75

Con los resultados mostrados en tablas 16,17 y 18 podemos señalar que el rendimiento promedio que debería obtenerse en toda la maquina si no hubiesen existido los problemas de inundación y muy baja población en los cuadrantes 1 y 4 sería de 35,75 t/ha que es el rendimiento que estimamos tuvo el tercer cuadrante a pesar de los problemas en el manejo del riego que hasta aquí se han explicado.

Análisis estadístico del peso y número de los tubérculos cosechados en las microparcels

Del análisis estadístico de los tubérculos cosechados en las microparcels (tabla 19) se obtuvo que como promedio que cada planta tenía 3.95 tubérculos.

Tabla 19. Peso y número de tubérculos cosechados.

	Replica 1		Replica 2		Replica 3		Replica 4	
Plantas	Peso (kg)	No. tubérculos	Peso (kg)	No. tubérculos	Peso (kg)	No. tubérculos	Peso (kg)	No. tubérculos
1	1	6	0.68	2	1.81	7	0.91	3
2	1.25	7	0.68	6	0.68	4	0.91	2
3	0.75	3	0.91	2	1.36	4	0.5	3
4	1.25	6	0.68	2	1.36	8	0.68	3
5	1	4	1.13	3	1.13	6	0.91	4
6	1	6	0.91	3	1.25	4	0.45	2
7	1	4	1.36	5	0.75	4	1	5
8	0.75	1	0.91	8	0.75	3	0.75	2
9	1	5	0.91	4	0.75	2	0.45	2
10	0.68	5	1.13	4	0.75	2	0.91	2
Media de 10 plantas	0.97 Kg	4.7	0.93 Kg	3.9	1.06 Kg	4.4	0.75 Kg	2.8
Rendto medio	43.02 t/ha		41.3 t/ha		47.1 t/ha		33.2 t/ha	

. El sesgo y curtosis ambos estandarizados tienen valores de 1.507 y -0.603 respectivamente, lo que indica que las muestras provienen de una población con distribución normal al oscilar ambos entre -2 y 2.

Para la media del número de tubérculos por planta (3.95) puede establecerse con 95% de confianza que la media verdadera se encuentra en algún punto entre 3.36632 y 4.53368. El peso promedio de los tubérculos por plantas fue de 0.926 kg y puede establecerse con 95.0%de confianza que la media verdadera se encuentran en algún punto entre 0.836772 y 1.01523.

Análisis económico de la UBPC-2 para la campana2009- 2010.

Los gastos durante esta campana de papa por el UBPC-2 aparecen el la tabla 20.

Tabla 20. Gastos, producción y ganancia de la UBPC -2.

Elementos de gastos	2009 – 2010
Semillas	21509.91
Fertilizantes	32121.15
Pesticidas	3253.20
Preparación de Tierra	4995.35
Agua	22188.93
Combustibles	1153.34
Energía	3805.26
Salarios	23321.88
Seguridad Social	3117.59
Servicios Productivos	7433.47
Trasposos por Gastos Indirectos	8413.82
Pago del Seguro	10318.11
Totales	141632.01
Área (ha)	20.13
Producción Total	391.54t
Ventas en kg	376464
Ventas en Pesos	162067.80
Precio Promedio (pesos/kg)	0.4305
Ganancia	20435.79

CONCLUSIONES.

1. Se demostró que el uso de los tensiómetros, junto al monitoreo de la humedad del suelo mediante muestras gravimétricas pueden utilizarse para calibrar el balance hídrico agrometeorológico.
2. El método de balance agrometeorológico del agua en el suelo resultó adecuado para estimar la programación de los riegos, aunque necesita todavía un ajuste del Kc para mayor precisión.
3. El régimen de riego que en la realidad administró la UBPC #2, permitió en algunos días alto déficit de humedad en el suelo, lo que indica que la norma total de riego del cultivo debería ser mayor de los 147.4 mm aplicados en esta campaña.
4. La evaluación de la máquina al inicio de la campaña indica que se estaba aplicando la lámina media requerida con un coeficiente de uniformidad ponderado de 86.7%, el cual permite, calificar la uniformidad del riego como buena.
5. El fregado de la máquina puede realizarse en solo 20 minutos, ya que a partir de ese tiempo según los análisis del agua la concentración de N-amoniaco se corresponde con el agua de la fuente de abasto.
6. Las precipitaciones en los tres meses alcanzaron valores de 189.2 mm, de los cuales, se aprovecharon 87.02 mm por su deficiente distribución, las mismas causaron serios problemas por la ausencia de un sistema de drenaje y ser un suelo arcilloso pesado.
7. El rendimiento alcanzado en el área de la maquina fue de 19.45 t/ha y se estimó que en el cuadrante 3 con 86.87 % de población pudo haberse obtenido un rendimiento de 35.75 t/ha sin los problemas de drenaje ocasionados por las lluvias.

RECOMENDACIONES

1. La UBPC #2 debe aplicar los riegos atendiendo a la programación que se le sugiere, según los métodos para determinarla atendiendo al cultivo, suelo y clima.
2. Los Kc que se usaron en esta campaña necesitan ser corregidos en algunas fases para que estimen con mayor precisión la evapotranspiración del cultivo.
3. El fertirriego debe aplicarse como parte de la programación normal de los riegos y fregar la máquina al concluir el mismo en la guardarraya de parqueo durante 20 minutos.
4. La máquina con las boquillas adecuadas según la carta y la presión establecida aplica demasiada agua en el primer tramo lo cual debe analizarse con el fabricante.
5. La planificación de las actividades de cultivo y fitosanitarias debe hacerse en forma tal que no coincidan unas con otras, así se evita el atraso de algunas que pueden causar afectaciones en los rendimientos.

BIBLIOGRAFIA.

1. Andrew, F. (2000). Potatoes Irrigation. [Consultado 25-02-10] , Disponible en:
<http://www2.larioja.org/pls/dad user/G04.texto integro?p cdi accn=1290-130756>
2. Bosnjak, D. Y Pejlik, 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 [fecha de consulta: 01-03-10] Disponible en:
http://www.actahort.org/books/449/449_29.htm
3. Cortbaoul, R. 1993. Siembra de papa. Boletín de Información Técnica 11 CIP. Lima, Perú. Centro Internacional de la Papa. Pp. 81 – 96.
4. Domínguez, A. 1989. Tubérculos y raíces. Tratado de fertilización, segunda edición. Madrid, España. Ediciones Mundi-prensa. p601.
5. Doorembos, J. Y Kassam, A. 1986. Estudio del Agua sobre el Rendimiento de los Cultivos. Riego y Drenaje. Roma, Italia. Estudio FAO, Food and Agriculture Organization of United Nations. p33.
6. Dueñas, G.R. (2006). Agua/sostenibilidad, Uso eficiente del agua, Editorial Feijoo. Pp.126-128
7. 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. p40.
8. Faiguenbaum, H. 1987. Producción de cultivos en Chile, papa. Santiago, Chile. Publicitaria Torrelodones. p332.
9. González, B.P, Cisneros, Z. E, Placeres M .Z, Moreno, E. (2000). Instructivo técnico riego y drenaje, Serie No.2; operación de sistemas, fertirrigación con máquinas de pivote central en el cultivo de la papa.
10. González, P. (2004). Manual para el diseño y operación de máquinas de pivote central, p.64.

11. Haverkort, A.J (1986). Manejo de agua en la producción de papa. Boletín de Información Técnica 15 CIP. Lima, Perú. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. Centro Internacional de la Papa. p24.
12. Haverkort, A.J (1982). Manejo del agua en la producción de la papa, boletín de información técnica 15. Centro internacional de la papa, Lima, Peru.p22
13. Huaman, Z. 1986. Botánica Sistemática y Morfológica de la Papa. Boletín de Información Técnica 6 CIP. Lima, Perú. Centro Internacional de la Papa. p22.
14. Jensen (1980). Design and operation of farm irrigation systems. ASAE, monograph number 3. St. Joseph. Michigan, U.S.A.
15. Jerez, J.; Simpfendorfer, C. (2000). Efecto del riego en cultivos de papa. Tierra Adentro. Especial riego y drenaje. INIA Instituto de Investigaciones Agropecuarias (34), pp. 36 – 38.
16. Keller, J. y Buesner, R.D (1990). Sprinkle and trickle irrigation. AVI books. Van Nostrand Reinhold, New York.
17. Klassen, G., Mills, G. Y Geisel, B. (2001). Potato Production. Irrigation. [en línea]: documento electrónico fuente en internet [fecha de consulta: 05-01-10]. Disponible en: <http://www.gov.mb.ca/agriculture/crops/potatoes/bda01s11.html>
18. López, Z.M, Vázquez, B.E, López, F.R (1995). Raíces y tubérculos, capítulo 4. Editorial Pueblo y Educacion.
19. Megh, R.G. Manejo de riego por goteo. Capitulo V, El tensiómetro, su uso, instalación y mantenimiento. Consultado 3/3/2010, Disponible en; http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/home.htm
20. 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.
21. 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.

22. 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.
23. Roman, M. y Hurtado, G. 2002. Guía Técnica. Cultivo de la papa. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. La Libertad. El Salvador. Consultad 15-02-2010, Disponible en:
<http://www.salvador.gob.fe/redacta/prensa/fd66/texto/técnica.htm>
24. Roque, R. (1995). Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum* L.) al riego en suelos Ferralíticos Rojos del occidente de Cuba. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de investigaciones de riego y drenaje.
25. Soboh, G., Sully, R. y Hopkins, H. (2000). Mecanismos para incrementar el número de tubérculos. *Boletín de la Papa*, RedePapa. [en línea]: documento electrónico fuente en internet. Vol.3, nº4, 28 de febrero, 2001. De: *Australian Potato Research*. (31 de julio – 02 de agosto, 2000, Adelaide, Australia). Development and Technology Transfer Conference. [fecha de consulta: 08-02-10]. Disponible en:
<http://www.redepapa.org/boletintreintacuatro.html>
26. Suárez, L.J, Martínez, A.F, Puertas, A.J. (2005). Manual de conducciones uralita, sistemas de conducciones en infraestructuras, riego y edificación. International Thomson Editores Spain paraninfo, S.A. pp349-359.
27. Tarjuelo, J. M. (2005). El riego por aspersion y su tecnología. Ediciones Mundi- Prensa, pag 318. Madrid, España.
28. Tarjuelo, J. M. 1999. El riego por aspersion y su tecnología. Editorial Mundi – Prensa, 2.
29. Varas. E. (2005). Efecto del Riego en la producción y calidad de la papa (*Solanum tuberosum* L.). [Consultado 15-02-10] Disponible en:
http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/IIIEncAguas/contenido/trabajos_verde/TC-153.htm

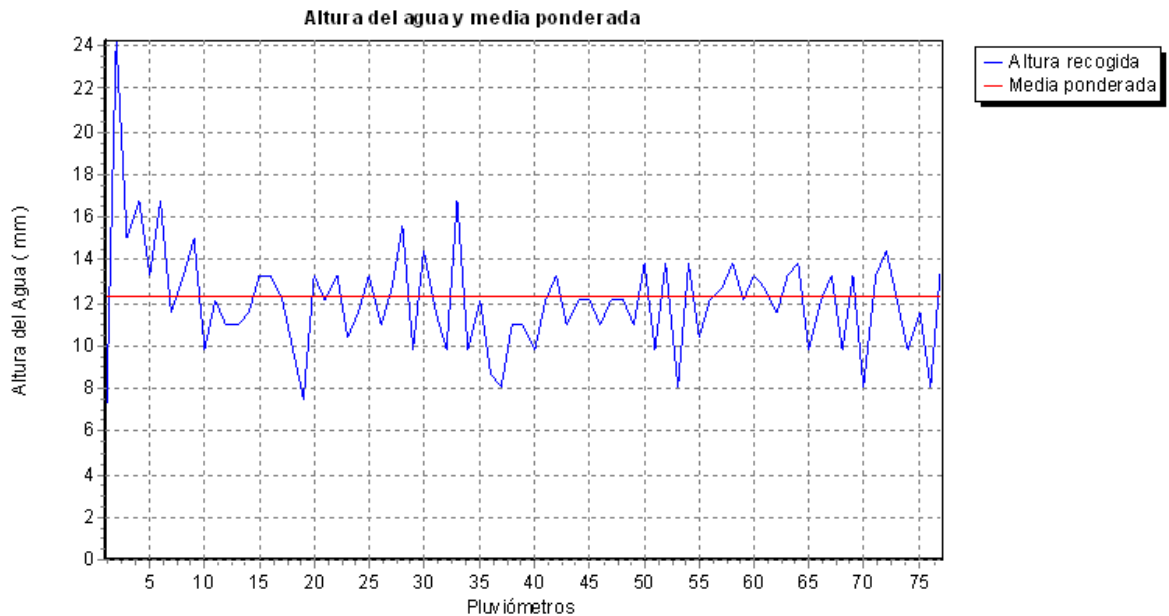
30. Vázquez, B. E y Torres, G. (1995). Fisiología Vegetal. Editorial Pueblo y Educación. Habana.
31. Von Bernult, R.D (1983). Uniformity design criteria under limited water. Trans. ASAE, 26 (5):1418-1421.
32. Juan J.A., Ortega J.F., Álvarez N., Tarjuelo J.M (2002). Irrigation Advisory Services and Participatory Extension in Irrigation Management for farmers (SIAR) in Castilla la Mancha: Action and Limitations, Workshop organised by FAO – ICID, Montreal, Canada.
33. Pacheco (2008), “Sistema de Asesoramiento al Regante en la Provincia de Villa Clara”, Informe final de proyecto ramal del MINAG

ANEXOS.

Anexo 1: Evaluación pluviométrica de la maquina de campo-14(UBPC- 2)

Evaluación Pluviométrica

Datos de la evaluación			
Máquina:	western	Presión en el pivote:	2.1 kg/cm ²
Cultivo y fase:	plantacion-brotacion	Regulación:	20
Fecha:	11/1/2010	Lámina de riego requerida:	20 mm
Hora de inicio:	7:05 am	Velocidad del viento:	3.87 m/s
Hora de fin:	8:54 am	Velocidad de la última torre:	72 m/h
Diámetro:	10.5 cm	Dirección del Viento:	N
Equidistancia:	3 m	Dirección de los pluviómetros:	NE



Parámetros calculados	
Media Ponderado	12.3 mm
Media Ponderada del 25% menos regado	9.6 mm
Coefficiente de Variación Ponderado	16.4 %
Coefficiente de Uniformidad Ponderado	86.7 %
Uniformidad de la distribución ponderado	78 %

Anexo 2. Profundidades de la ruedas de la máquina de campo 14.



OPINION DEL TUTOR

Titulo del Trabajo de Diploma: 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”

Diplomante: Brian Job Olema

Tutores: Dr. Juan Pacheco Seguí
Ing. Andrés Pérez Corra.

El presente trabajo de diploma se desarrolló en el marco del proceso productivo de una UBPC agrícola. Por tanto, sus resultados impactan directamente lo referente a la programación del riego en el lugar de su realización y serán objeto de aplicación rápidamente. El tema tiene gran actualidad al tratar de resolver el problema de la programación del riego, cuestión que se demuestra según la bibliografía consultada por el diplomante es un asunto que en el mundo hoy se aborda mediante sistemas de asesoría a los regantes.

El trabajo realizado se corresponde con la tarea planteada al alumno, la cual, resultó cumplida. Trabajó con independencia pues debió relacionarse con trabajadores de la UBPC, empresa y Laboratorio de Suelos de la UCLV y encontrar soluciones a problemas presentados durante la realización de las evaluaciones, se mostró creativo ante las situaciones que se le presentaron. Fue disciplinado y respetuoso en su trabajo y logró buenas relaciones humanas con los trabajadores. El trabajo realizado es extenso y complicado porque aborda varios aspectos del manejo del agua en la agricultura incluyendo la fertirrigación con pivotes, la cual, aporta conocimientos nuevos para el alumno, no obstante, mostró capacidad de análisis para interpretar los resultados alcanzados. El número de páginas sobrepasa lo que hemos normado al efecto, pero la complejidad del trabajo justifica la extensión del mismo.

La ortografía y redacción son adecuadas, con algunos detalles propios de un alumno cuya lengua materna no es el español.

Teniendo en cuenta todo lo anterior considero que el presente Trabajo de Diploma reúne los requisitos para optar por el título de Ingeniero Agrónomo.

Firmado: Dr. Juan Pacheco Seguí e Ing. Andrés Pérez Corra.