

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FCA
Facultad de
Ciencias Agropecuarias

TRABAJO DE DIPLOMA

Título del trabajo: Coeficiente de Uniformidad de la Máquina de Riego en el campo
3 de la UEB Pararrayo de la Empresa Valle del Yabú

Autor: Carlos Alexis Clemente Morales

Tutor: MSc. Tania Esther Capote Dominguez

Santa Clara Junio 2018
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830
Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Agradecimientos

Quiero agradecer a toda mi familia, en especial mis padres, hermana y amigos por brindarme su apoyo incondicional durante la etapa universitaria.

A mi tutor MSc. Tania Esther Capote Dominguez por su paciencia, apoyo y dedicación.

A Dr. C Ramón Cristóbal Ríos Albuerne, por su valiosa ayuda.

A Jorgito por sus importantes explicaciones.

A los trabajadores de la UEB Pararrayo, en especial a Zoraida y a su esposo.

A todos profesores que de una forma u otra contribuyeron a mi formación como Ingeniero.

A todos muchas gracias.

Dedicatoria

A mis padres, hermana y abuela por todo su amor y apoyo en todo momento.

A los que aman la tierra.

Resumen

El presente trabajo se realizó en el campo 3 de la UEB Pararrayo perteneciente a la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú en el período comprendido entre enero del 2017 y mayo del 2018 con el propósito de determinar el Coeficiente de Uniformidad de la máquina de riego de pivote central. En el experimento se determinó la pluviometría y uniformidad de la lámina de agua aplicada con el Software Pluviopivot. El estado de humedad del suelo se monitoreó mediante el tensiómetro durante el ciclo del cultivo. Se evaluó el rendimiento del cultivo y el peso promedio de los tubérculos por planta/tramo/cuadrante al que se le realizó el procesamiento estadístico con el STATGRAPHICS plus 5.0. Los resultados obtenidos muestran que la máquina presenta un Coeficiente de Uniformidad Ponderado de 82% en el mine y un 88.2% en el 9no riego después del cambio de las boquillas. El tratamiento 3 fue el de más bajo Coeficiente de Uniformidad Ponderado con 69.9% en el mine y 79.8% en el 9no riego. Existieron diferencias significativas en el peso promedio de los tubérculos por planta entre los tratamientos, alcanzándose el menor peso en el tramo 3 con 338.4 g.

Índice

| | |
|--|----|
| 1. Introducción..... | 1 |
| 2. Revisión Bibliográfica | 4 |
| 2.1 Riego por aspersión | 4 |
| 2.2 Sistema de riego de desplazamiento radial o de pivote central..... | 5 |
| 2.3 Manejo de las aguas | 8 |
| 2.3.1 Situación actual de las necesidades de agua para la agricultura..... | 8 |
| 2.3.2 Los pivotes centrales en el riego con aguas residuales | 10 |
| 2.4 Medida del contenido de humedad | 12 |
| 2.4.1 Tensiómetro | 12 |
| 2.4.2 Interpretación de las lecturas del tensiómetro | 13 |
| 2.4.3 Instalación de los tensiómetros | 14 |
| 2.5 Evaluación de la uniformidad en máquinas de riego | 15 |
| 2.6 El agua en el cultivo de la papa. Necesidades hídricas | 16 |
| 3. Materiales y métodos | 18 |
| 3.1 Necesidades y potencialidades del sistema de riego aéreo..... | 19 |
| 3.2 Coeficiente de Uniformidad de riego aéreo | 21 |
| 3.3 Componentes de rendimiento analizados en el cultivo de la papa en el momento de la cosecha | 23 |
| 4. Resultados y discusión..... | 24 |
| 4.1 Necesidades y potencialidades del sistema de riego aéreo..... | 24 |
| 4.1.1 Fuente de abasto | 24 |
| 4.1.2 Talleres..... | 24 |
| 4.1.3 Estación de bombeo y componentes de la máquina de pivote central.... | 25 |
| 4.1.4 Tensión de humedad del suelo | 27 |
| 4.2 Coeficiente de Uniformidad de riego aéreo | 30 |
| 4.3 Componentes de rendimiento analizados en el cultivo de la papa en el momento de la cosecha poner el rendimiento..... | 33 |
| Conclusiones..... | 36 |
| Recomendaciones..... | 37 |
| Referencias bibliográficas | |

1. Introducción

El agua que requieren los cultivos es aportada en forma natural por las precipitaciones, pero cuando ésta es escasa o su distribución no coincide con los períodos de máxima demanda de las plantas, es necesario aportarla artificialmente, es decir a través del riego.

Por otra parte, es sabido que las producciones agropecuarias son la base de la alimentación para el hombre, por esta razón cada una de sus áreas o disciplinas de estudio e investigación, deben fortalecerse para producir más con un uso eficiente de recursos y a un menor costo. El riego agrícola, por su estrecha relación con el uso, el manejo y la conservación del agua, es una de estas áreas dentro de la agricultura que requiere de mayores estudios, avances tecnológicos y de la aplicación de los mismos sin deteriorar el medio ambiente.

El riego, se considera como una ciencia milenaria, en algunos países se estableció como una actividad de vital importancia, entre los casos de pueblos con vocación en la irrigación se tienen a los antiguos egipcios, chinos, babilonios e hindúes.

Después de la década de los 80 del siglo XX, en todo el mundo fue desarrollándose el riego como una ciencia evolutiva de tal manera que las técnicas año tras año, son cada vez mejores porque garantizan ahorro de agua, ahorro de energía y al ser extensivas abaratan los costos, con un importante aumento en la producción.

Según FAO (2009) el mundo requerirá un aumento en la producción agrícola, en las próximas décadas, para cubrir las necesidades de alimentación de la población. Para este organismo, de la utilización del agua dependerá la mayor parte del incremento de la producción, y hace un llamado de atención sobre la disminución progresiva del recurso agua en su disponibilidad para su uso futuro en el riego. En este sentido, la FAO se manifiesta sobre la necesidad de usar inteligentemente el riego, ya que éste se convertirá en un elemento crucial para el abastecimiento de alimentos al mundo.

La agricultura en nuestro país es una de las ramas de la economía que está priorizada a nivel nacional, por lo que la introducción de técnicas modernas en la misma es requisito indispensable para elevar los rendimientos y hacer un uso más eficiente del agua, el desarrollo económico y la satisfacción de las

necesidades alimentarias cada vez más crecientes de la población. Una de esas técnicas de avanzada es la máquina de riego de pivote central eléctrica, la que garantiza homogeneidad en el riego, humedad óptima para el cultivo, ahorro de agua y fertiriego, es utilizada en plantas de pequeño y mediano porte, fundamentalmente cultivos varios y caña de azúcar.

En Cuba las máquinas de riego han evolucionado desde el punto de vista mecánico utilizando sistemas cada vez más eficientes y fiables, se logran estructuras con longitudes de tramos cada vez mayor, desde 32 metros y alcanzado hasta 60 metros. Los nuevos diseños se enfocan principalmente en mejorar los costos de riego por hectáreas y en lograr la homogeneidad en el riego, lo cual se logra a través de emisores que trabajen a baja presión, que tengan un gran alcance y que sean poco afectados por el viento.

Hacia el año 2003 en Cuba, se presentó un decrecimiento en el parque de máquinas de pivote central modelo Fregat y con ello el área bajo riego del país. Durante ese período se le dieron baja aproximadamente a unas 40 máquinas anuales como promedio; implicando una situación crítica en el período 2003-2004 al sobrepasar el 100% del parque activo su vida útil (IIRD, 2005).

En el 2004 en cooperación con la firma española TUSA, y con financiamiento de la OPEP, se fabricaron 110 Máquinas que tenían combinaciones de tramos de 45, 54 y 60 metros, la incorporación del tramo de 60 metros contribuyó a mejorar el riego por hectárea.

Estas condicionantes incidieron en la implementación, por parte del MINAG, de un programa de electrificación para sustituir los motores de diésel por eléctricos, fundamentalmente en aquellos lugares donde el sistema de riego no necesita ser sustituido y la inversión de las obras eléctricas sea mínima. Dicho programa de modernización de los sistemas de riego incluyó, además, el cambio de la bomba y la máquina de pivote central de accionamiento hidráulico por máquinas eléctricas.

De manera general, dicha tecnología conjuntamente con el resto de los métodos y técnicas de riego cumplen con la misión de convertir el agua destinada a esta actividad agrotécnica desde el estado corriente del agua al estado de humedad del suelo.

En opinión de Tarjuelo (2005) existen cuatro métodos fundamentales para desarrollar la actividad de riego: riego superficial por acción de la gravedad, riego aéreo, riego subterráneo y riego localizado. No obstante, esta investigación se centrará en el segundo método, específicamente en el riego con máquinas de pivote central para determinar el Coeficiente de Uniformidad Ponderado.

El campo 3 de la UEB Pararrayo ha disminuido el rendimiento de la papa en los últimos cuatro años como consecuencia del largo período de explotación de la máquina de riego o de otros factores que son objetos de investigación.

Problema científico: El sistema de riego aéreo (Pivote central) instalado en el campo 3 de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú, presenta deficiencias técnicas que atentan contra la calidad, el manejo del riego, y los niveles de producción del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.)

Hipótesis: Para las condiciones actuales de producción, la obtención de un adecuado Coeficiente de Uniformidad del sistema de riego empleado, favorecerá la uniformidad en la aplicación de agua y por consiguiente elevará los rendimientos del cultivo de la papa.

Objetivo general: Evaluar el Coeficiente de Uniformidad de riego empleado para la irrigación de la papa del campo 3 de la UEB Pararrayos de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.

Objetivos específicos:

1. Determinar las necesidades y potencialidades del sistema de riego aéreo por máquinas de pivote central que se utiliza en el campo 3 de la UEB Pararrayos de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.
2. Calcular el Coeficiente de Uniformidad de riego aéreo por máquinas de pivote central que se utiliza en el campo 3 de la UEB Pararrayos de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.
3. Determinar el rendimiento agrícola y el peso promedio de los tubérculos por planta en el cultivo de papa plantada en el campo 3 de la UEB Pararrayos de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.

2. Revisión Bibliográfica

2.1 Riego por aspersión

El riego por aspersión es una modalidad de *riego* mediante la cual el agua llega a las plantas en forma de "lluvia" localizada (Martínez, 2015).

Los criterios para escoger este tipo de riego depende de la fuente de agua disponible, cultivo asociado, fuente de energía (gravitacional, eléctrica, fotovoltaica, combustible, etc.), dinero que disponga y el tipo de terreno que posee (Tarjuelo, 2005).

Las partes de un sistema de riego por aspersión según las investigaciones realizadas por Cisneros (2003) son:

Captación del agua:

- Pozo; Río, embalses.
- Toma desde un río, lago o embalse.

Estructura para el almacenamiento del agua:

- Almacenamiento subterráneo;
- Un lago natural o artificial (embalse);
- Depósito construido expresamente para tal fin.

Instalación para puesta en presión del sistema:

- Por gravedad, si los campos regados están en una cota inferior a la captación, por ejemplo, para el riego de campos situados aguas abajo de una presa.
- Por bombeo, cuando se trata de utilizar agua de pozo, o para regar terrenos que se encuentran a una cota superior a la del embalse de regulación.

Tuberías principales y secundarias fijas.

Dispositivos móviles.

Emisores.

Según Cisneros (2003) existen diferentes sistemas de riego por aspersión:

- Sistema de riego de desplazamiento radial o de pivote central.
- Sistema de riego de desplazamiento frontal.
- Sistema de riego de cañón aspersor (Enrolladores o aspersor rodante).
- Sistema de riego localizado.
- Sistema de riego estacionario.

- Sistema de riego semiestacionarios.
- Sistema de riego móvil.

Para Pacheco (2008) coincidiendo con Cisneros (2003) las ventajas del riego por aspersión son:

- El consumo de agua es menor que el requerido para el riego por surcos o por inundación.
- Puede ser utilizado con facilidad en terrenos con pendientes no muy pronunciadas.
- Se puede dosificar el agua con una buena precisión.
- No afecta el material vegetal sometido a riego, ya que se elimina la presión que el agua puede ofrecer a las plantas; y como es homogénea su distribución sobre el material vegetal, el riego de la vegetación por aspersión es total y se distribuye suavemente el agua sobre toda el área deseada.

Pacheco (2008) considera como inconvenientes del riego por aspersión:

- El consumo de agua es mayor que el requerido por el riego por goteo; siendo este muy importante en cada caso de riego.
- Se necesita determinar bien la distancia entre aspersores, para tener un Coeficiente de Uniformidad Ponderado superior al 80%.
- La humedad provocada en la zona foliar y del tallo, junto a temperaturas altas podrían provocar aparición de hongos.

2.2 Sistema de riego de desplazamiento radial o de pivote central

Este sistema está compuesto por una tubería colocada encima de ruedas que gira sobre un punto fijo, donde se recibe el agua a través de un tubo. Dichas ruedas giran con un mecanismo que se activa con la presión del agua. Habitualmente se instala en campos de grandes dimensiones y con forma circular (Ramírez, 2011).

Las máquinas de movimiento circular o pivotes fueron desarrolladas a mediados del siglo XX y los modelos iniciales se movían haciendo uso de la presión del agua de riego que circulaba por las mismas, lo que se conoce como máquinas de movimiento hidráulico. Su aspecto general, es de un largo lateral de riego elevado y soportado por estructuras en forma de triángulo con uno de sus lados paralelos al terreno y denominadas torres que poseen una rueda en cada ángulo de su base. La tubería que conduce el agua de donde penden

mangueras colgantes con boquillas en sus extremos, es soportada por cada torre en el vértice del ángulo superior del triángulo. Las torres están espaciadas 45-60 m según el fabricante y grosor de la tubería conductora de agua. Las máquinas se fabrican desde 2 hasta 16 torres (González, 2014).

La máquina de riego de pivote central modelo Fregat es la primera máquina de movimiento circular importadas en Cuba desde la extinción de la URSS y aún existen algunos ejemplares trabajando, aunque con muchas limitaciones técnicas (IIRD, 2005). Cada torre tiene un cilindro que recibe mediante una manguera el agua a presión de la tubería y funciona como un motor hidráulico transmitiéndole movimiento a las ruedas de hierro que posee. En un extremo la máquina está sostenida por una estructura de angulares que la sostiene a una determinada altura según el diseño de las torres y es el punto conocido como “pivote”, por donde recibe el agua con determinada presión y caudal según requisitos de diseño y debe poseer un manómetro insertado en la tubería para chequear que la presión que recibe es la adecuada. La presión de trabajo estará entre 1-2 kg/cm² porque no usan aspersores de impacto. Los aspersores van aumentando el diámetro de su boquilla desde el inicio cerca del pivote hasta el final en la última torre. De modo que el caudal por emisor se incrementa gradualmente con la lejanía al pivote y con ello aumenta también la intensidad de aplicación del agua. Esto es necesario porque la velocidad angular de la máquina es mayor en la medida que se aleja del pivote y también a cada boquilla le corresponde regar un área agrícola mayor. La velocidad de la máquina se regula según los golpes por minuto que ejecuta el cilindro impulsor de la última torre. Luego a mayor velocidad, menor lámina de riego aplicada y viceversa. La máquina Fregat aunque más atrasada tecnológicamente posee también sistemas de protección mediante alambres para detener el movimiento ante un desalineamiento excesivo entre sus torres. El área que riega una máquina de pivote es circular y normalmente para efectos prácticos se divide en cuadrantes, el primero es el que se inicia a partir de la guardarraya de parqueo, que es un terraplén con mejoramiento donde se detiene la máquina mientras no está regando para su conservación y su protección, también en caso de amenaza de huracanes. La máquina Fregat se mueve únicamente cuando riega y siempre en el mismo sentido de giro (González, 2014).

Las máquinas de pivote central y movimiento eléctrico se corresponden con las más modernas en el mercado. Cada torre posee dos ruedas de goma de alta flotabilidad que se mueven por la energía que les suministra un motor eléctrico ubicado en la base de la torre. La máquina tiene un control eléctrico general sobre el pivote y otro sobre cada torre. La máquina se comanda desde la base del pivote donde tiene una pizarra de control. La velocidad de movimiento se define en un selector graduado en por ciento, el cual, representa la relación impulso/pausa que la máquina desarrolla en la última torre. Como que la máquina no se mueve toda al mismo tiempo, primero la última torre avanza un sector y después lo van haciendo las demás hasta alinearse la máquina completa. Cuando el selector se ubica en 20%, ello significa que la última torre estará el 20% de un minuto (12 segundos) moviéndose y el resto del tiempo (48 segundos) en pausa, o sea, detenida y a continuación se repite este ciclo impulso/pausa. Para cada modelo de máquina de pivote central eléctrica el fabricante elabora un documento que se conoce como la carta de la máquina donde se especifica la lámina de riego bruta que aplica en cada por ciento del selector de velocidad. La máquina posee un sistema de protección automático que la detiene ante desalineaciones de sus torres. Es capaz de moverse sin regar y girar a favor o en contra de las manecillas del reloj. Los costos por hectárea de las máquinas de pivote central eléctricas dependen directamente de la superficie bajo riego. Pivotes Centrales diseñados para regar entre 20 a 30 ha tienen valores que fluctúan entre los 1500 a 2500 \$US/ha, en cambio Pivotes capaces de regar unas 100 ha poseen valores entre 800-1000 \$US/ha. De lo anterior se deduce la conveniencia, siempre que el área lo permita, de usar pivotes con más de 30 ha bajo riego (FAO, 2009).

Montero *et al.* (2005) consideran como ventajas de la máquina de riego de pivote central:

- Gira en ambos sentidos.
- Gira sin regar.
- Usa ruedas de goma de alta flotabilidad.
- Es muy fácil seleccionar la lámina de riego.
- Por tener un extremo siempre fijo (el pivote) son de fácil electrificación.
- Son fáciles de automatizar.

- Se pueden usar para la aplicación de fertilizantes químicos.
- Siempre terminan de regar en el punto donde después deben comenzar, sin necesidad de caminar espacios sin regar.

Como principal desventaja de la máquina de riego de pivote central Montero *et al.* (2005) plantearon que requiere para su mantenimiento, personal con conocimientos de electricidad.

2.3 Manejo de las aguas

Se sabe que el agua es un recurso inapreciable y limitado. Aunque nos parece abundante por cubrir tres cuartas partes de la superficie de la tierra, solo una pequeña porción de agua dulce es aprovechable. De esa limitada cantidad casi un 70% se utiliza en la producción de alimentos (Roque *et al.*, 2006).

La FAO (2017) estima que en los próximos 30 años se requerirá de un 60% más de alimentos para satisfacer las demandas de la población creciente. Más de 800 millones de personas no cuentan con una seguridad alimentaria. La mayor parte de dichos alimentos procederá de la intensificación de la agricultura de regadío. Se prevé que para el año 2030, las áreas de regadío de los países en desarrollo podrían aumentar un 20%.

Rodríguez (2002) plantea que los estudios determinan que la mayor concentración de alimentos se producirá en las áreas bajo riego, donde existen cerca de 250 millones de hectáreas en tal condición, las que son responsables del 17 % de toda el área cultivable del mundo, y contribuyen con el 40% de los alimentos que se consumen a nivel mundial.

2.3.1 Situación actual de las necesidades de agua para la agricultura

Es una realidad que el agua es escasa en muchos países y regiones, además hay una fuerte competencia por su uso.

Se hace necesario la mejora de la productividad agrícola y el aprovechamiento del agua, con el empleo de mejores semillas, el aumento de la fertilidad del suelo y el uso de técnicas novedosas de cultivo y sistemas de riego más eficientes. Mejorando el acopio y conservación del agua de lluvia y haciendo un mayor uso de aguas residuales y de baja calidad para el riego de los cultivos y el consumo humano (Roque *et al.*, 2006).

De acuerdo con el Programa Mundial de Evaluación de los recursos Hídricos de la ONU (2006) la eficiencia en el uso del agua a nivel mundial es del 38% y se espera un lento incremento del 42% para el 2030.

La mayoría de la agricultura en el mundo es de secano o dependiente de las lluvias, pero las tierras irrigadas representan aproximadamente una quinta parte del área cultivable en los países en vías de desarrollo. Alrededor del 15% del agua en la agricultura es usada en el riego (Roque *et al.*, 2006).

Shiklomanov (1998) afirma que el riego desempeñará un gran rol en el incremento de la producción eficiente de las tierras cultivables y producciones ganaderas.

En 1998 en los países en desarrollo, las tierras bajo riego produjeron las dos quintas partes de todos los cultivos y las tres quintas de todos los cereales (FAO, 2015).

Según Roque *et al.* (2006) la Asociación de Riego de los EEUU, (Irrigation Association) consideró en su último Congreso del 2002, que para satisfacer el crecimiento en el uso del agua en la agricultura, previsto a nivel mundial para el 2025 se requerirá de:

- El trasvase de agua entre regiones y países, ejecución de nuevas presas y sistemas de bombeo.
- Uso más eficiente del agua con el empleo de nuevas tecnologías adaptadas y al alcance de un número mayor de agricultores.
- Lograr mayor rendimiento agrícola como rendimiento por metro cúbico de agua utilizada que rendimiento por hectárea.

Cuba enfrenta retos para mejorar el aprovechamiento y la gestión del agua a nivel de complejos hidráulicos y cuencas hidrográficas. Los principales son: su cuantía limitada, su distribución espacial no uniforme y su distribución temporal no acorde con las necesidades de los territorios, las cuales son fuertemente dependientes del comportamiento de las lluvias como única y principal fuente de alimentación de los procesos hidrológicos (CENHICA, 2013). Se ha desarrollado una infraestructura hidráulica capaz de almacenar 9 030 000 m³. Miles de pozos se han puesto en explotación para aprovechar el agua subterránea, lo cual ha elevado los recursos hídricos a 13 600 000 m³. La disponibilidad hídrica per cápita es de 1 231 m³ al año. Varias provincias como

La Habana, Las Tunas, Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo disponen de valores inferiores a los 700 m³ al año. (CENHICA, 2013). En nuestras condiciones edafoclimáticas existen tres vías factibles para incrementar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura:

- Incrementando la producción agrícola en las áreas bajo riego.
- Disminuyendo el uso del agua para riego con un mismo nivel de producción (riego controlado o deficitario).
- Reutilizando las aguas residuales de otros procesos productivos o de servicios urbanos para la producción agrícola.

2.3.2 Los pivotes centrales en el riego con aguas residuales

El origen del riego con máquinas de pivote central se remonta a 1952 en los Estados Unidos de América. Es a partir de finales de la década del 70 e inicios del 80, cuando se produce una generalización a nivel mundial en el uso de la misma (FAO, 2015). En Cuba los primeros pivotes de accionamiento hidráulico comienzan 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, unido a un aumento en el ahorro energético y de agua. Gonzáles (2002) destaca las ventajas económicas de esta técnica en relación con el cultivo de la papa en Cuba, señalando que los costos fijos por hectáreas (132.7 \$) son menores que en el riego por aspersión y goteo y solo superiores en el caso de riego por gravedad intermitente, tecnología en fase de introducción y poco conocida por nuestros agricultores.

El mayor productor de máquinas de pivote del mundo, fue el precursor desde hace cuatro décadas de la utilización de los equipos de pivote central para el riego de aguas residuales (Valley, 1995). Su uso ha sido por los productores de aguas de desecho en los campos agrícola, industrial y municipal. Afirman que la aplicación de nutrientes y aguas residuales a los cultivos, generalmente de forraje y pastos, es un signo de administración efectiva y eficiente del agua y señalan los conceptos siguientes:

- Es un método aceptable desde el punto de vista ambiental para reutilizar las aguas residuales, aprobado por la EPA (Agencia de Protección Ambiental) de los EEUU como una alternativa viable para las instalaciones de tratamiento convencionales.

- Es un método eficiente en costos cuando se compara con los tratamientos convencionales, generando ingresos a partir de los cultivos producidos en terrenos regados con aguas residuales.
- Los desechos son removidos del efluente por medio de acciones biológicas naturales que se realizan en el suelo y en las plantas, eliminándose o reduciéndose grandemente el potencial de contaminación por nitrato de los acuíferos y arroyos.

Según Curtis *et al.* (2006) hacen referencia a una experiencia y los costos de inversión y operacionales de dos pivotes eléctricos que riegan 80 acres (32 ha) con aguas residuales en Alabama (EEUU). Afirman que es más económico emplear rotaciones de cultivo como, maíz, maní y algodón y el costo inicial de la inversión es de 335 USD por hectárea y los costos operacionales anuales por hectárea regada son de 47.5 USD.

Según Valley (1995) el equipamiento adecuado para las aplicaciones de aguas residuales debe tener tramos galvanizados, módulos especiales de aspersores, recubrimiento y revestimiento anticorrosivo de tuberías, abrazaderas de acero inoxidable, disponibilidad de boquillas o rociadores que pueden aplicar hasta un 5% de sólidos y las opciones de diseño, monitoreo y control computarizado para aplicaciones específicas.

El riego puede ser utilizado para disponer de aguas residuales de ciudades e industrias; es un sistema ampliamente difundido en los países desarrollados, conocido como tratamiento por riego. Consiste en aplicar un efluente con cierto grado de purificación de aguas residuales, a tierras de cultivo, microorganismos del suelo y la planta, realizando un proceso de filtrado y purificación; se utilizan nitratos, fosfatos y potasio, entre otros nutrientes, para evitar la contaminación de las napas o mantos freáticos subterráneos (Valley, 1995).

Santos y Mutadas (1999) afirman que en 1970 el gobierno de EEUU empezó a estudiar científicamente las ventajas del tratamiento por riego en un famoso proyecto llevado adelante en Michigan. Las ventajas reconocidas son:

- Conservación de los recursos naturales, al no contaminar el entorno.
- Economía en la provisión de agua por riego.
- Ahorro en el uso de fertilizantes.

- Menor costo de operación y mantenimiento que las instalaciones convencionales de aguas residuales.

El uso de aguas residuales tratadas es una alternativa viable de ser empleada en el riego en zonas periurbanas y próximas a las plantas de tratamiento o lagunas de oxidación, siempre considerando los factores básicos para el diseño del sistema de riego, como son el suelo, la topografía, el agua, el clima y el cultivo, teniendo en cuenta y cumpliendo las exigencias medioambientales del territorio (Roque *et al.*, 2006).

2.4 Medida del contenido de humedad

La principal razón por la que interesa medir el contenido de humedad en un suelo es por la de saber cuándo se requiere regar. Según Cisneros (2003) el contenido de humedad de un suelo puede ser medido por varios métodos entre los que destacan los:

Métodos directos: Son métodos de campo y/o laboratorio con muestreo y/o secado. Su exactitud depende de la experiencia y habilidad por parte de quien los realiza. Ellos son:

1. Método al tacto
2. Método gravimétrico

Métodos indirectos: Son métodos basados en dispositivos utilizados en campo que se han ido perfeccionando e innovando tratando con ello de ser más precisos y de fácil operación. Estos son:

1. Tensiómetro
2. Bloques de yeso
3. Aspersor de neutrones
4. Medidor rápido de humedad "Speedy
5. Medidor Watermark™
6. Medidor Aquater™
7. Termómetro infrarrojo

2.4.1 Tensiómetro

Según Cisneros (2003) este método indirecto es uno de los más precisos para determinar la humedad en el suelo. El tensiómetro mide la tensión de un suelo en función de la humedad presente. El instrumento consiste de una cápsula

porosa de cerámica conectada a un tubo que contiene un sensor de vacío o un manómetro (Fig.1).

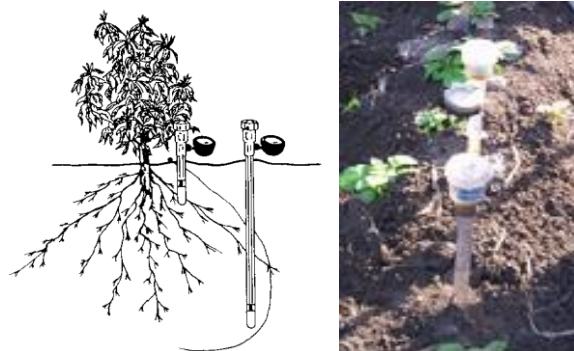


Figura 1. Tensiómetros

Para operar el tensiómetro se llena de agua, se extrae el aire, se cierra y se instala en el suelo lo más cerca posible de la zona de raíces. Para asegurar un estado de equilibrio, las lecturas deben tomarse 24 hr después de su instalación. A medida que el suelo se seca, el agua dentro del tensiómetro es succionada a través de la cápsula porosa por la matriz del suelo, creándose un vacío parcial que es detectado por el manómetro. Este vacío es aproximadamente igual al potencial mátrico (succión) del suelo al contenido de humedad que esté presente en ese momento en el suelo. Cuando un suelo es regado, el agua se mueve desde el suelo húmedo hacia el interior del tensiómetro, esto reduce el vacío y el manómetro detecta la nueva tensión o el relativo contenido de humedad (Cisneros, 2003).

2.4.2 Interpretación de las lecturas del tensiómetro

Los tensiómetros generalmente trabajan en un rango de valores entre 0 a 100 centibares (cb). Una lectura de 0 indica que el suelo está saturado, mientras que la máxima lectura útil está a 75 cb. Una guía práctica en la programación del riego es aplicar el riego cuando el contenido de la humedad del suelo es el 75% de la humedad a capacidad de campo. Si esta guía es aplicada a un cultivo en un suelo arenoso, el riego se aplicaría cuando el tensiómetro marque 25 o menos centibares. En contraste, este mismo cultivo en un suelo arcilloso podría ser regado cuando la lectura en el tensiómetro marque alrededor de 80 cb (Hargreaves y Samani, 1991).

1. Cerca de saturado (2 – 10 cb): El suelo permanece cerca de saturado el día que se aplica riego y hasta los dos días siguientes. Si la lectura baja persiste puede ser que el suelo esté inundado, haya un nivel freático alto, pobre aereación en el suelo o el tensiómetro puede estar roto.
2. Capacidad de campo (11 – 20 cb): El riego debe descontinuarse en este intervalo para evitar pérdida por percolación y lavado de nutrimentos bajo la zona de raíces. Los suelos arenosos estarán a capacidad de campo en el rango más bajo mientras que en el rango más alto estarán los suelos arcillosos.
3. Intervalo de riego (30 – 60 cb): Intervalo usual para comenzar a regar. En este rango el suelo está aereado. En general, en suelos arenosos (lómico arenosos y arenosos lómicos), el riego se aplica con lectura de 30 a 40 centibares. Usualmente en suelos lómicos (arenas lómicas muy finas y lómicos limosos) el riego comienza con lecturas de 40 a 50. En suelos arcillosos el riego usualmente se aplicará en el rango de 50 a 60. Comenzando el riego a estos intervalos se asegura agua disponible en el suelo.
4. Seco (60–70 cb): Este es el intervalo de estrés. Sin embargo, el cultivo no necesariamente es dañado o el rendimiento reducido. En algunos suelos el agua está disponible a la planta, pero no se obtiene el máximo rendimiento.
5. Tensión rompe (80 cb): Este es el límite de precisión del tensiómetro. Lecturas sobre 80 son posibles pero la tensión rompe la columna de agua entre 80 y 85 centibares.

2.4.3 Instalación de los tensiómetros

La instalación de los tensiómetros debe hacerse a una profundidad y ubicación que represente el contenido de humedad dentro de la zona activa de raíces. Para cultivos de raíces poco profundas (menor de 50 cm) un tensiómetro es recomendable, instalándolo a la mitad del bulbo de raíces. En cultivos de raíces profundas como frutales, dos o tres tensiómetros son recomendables. Para la instalación de los tensiómetros debe tomarse en consideración el sistema de riego a emplear. En riego por surcos la instalación se efectúa en el surco del cultivo, en riego por aspersión, se colocan de tal manera que el agua proveniente del aspersor no sea interceptada y alcance al tensiómetro, y en riego por goteo, la instalación se hace entre 0.3 y 0.6 m del emisor del gotero (Cisneros, 2003).

2.5 Evaluación de la uniformidad en máquinas de riego

La evaluación de la uniformidad de riego en la máquina de pivote central debe hacerse de modo semejante a como se evalúan las instalaciones de aspersión, estableciendo una malla cuadriculada de pluviómetros entre dos posiciones de riego de la misma, lo que permitirá determinar su uniformidad (Montero *et al.*, 2005).

La eficiencia con que trabaja cualesquiera de las máquinas se puede determinar, al comparar la lámina que debió aplicar según la cantidad de agua que vertió en el área, con la lámina media obtenida en los pluviómetros, para lo cual será muy importante conocer el caudal que entra a la máquina (Montero *et al.*, 2005).

La evaluación de la uniformidad en las máquinas de movimiento circular o pivotes, tiene otras particularidades, debido a que, si se calcula la media de los pluviómetros, sin considerar que cada uno de ellos representa una corona circular de diferente área, lo que se obtiene no es la lámina de riego media del área total. Luego entonces, debe calcularse la lámina media afectada por un coeficiente que representa el área que representa cada pluviómetro. Este procedimiento normalmente se hace mediante un software denominado "Pluviopivot" (Pacheco, 2008).

El estudio de la pluviometría en las máquinas de riego de pivote central resulta más complejo que en otros sistemas de aspersión, porque la corona circular representada por cada pluviómetro es mayor en la medida que su posición se aleja del pivote. Luego, el peso relativo de los diferentes pluviómetros en el cálculo de los parámetros de uniformidad no puede ser igual, lo que da lugar a que se introduzca un factor de ponderación que se corresponde con la superficie que representa cada pluviómetro y por consiguiente todos los coeficientes de uniformidad calculados resultan ponderados por la superficie. El uso de coeficientes de uniformidad ponderados por superficie para máquinas de pivote central, se viene planteando desde el pasado siglo XX en la bibliografía internacional destacándose los trabajos de Heermann y Hein (1968) que modificaron el conocido Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (1942) para ponderarlo por superficie. Posteriormente, Merriam y Keller (1978), Merriam *et al.* (1980) y Marek *et al.* (1986) citado este último por Faci y Bercero

(1990) contribuyeron todos al desarrollo de los actuales conceptos de la ponderación por superficie. En nuestro país se publica sobre la ponderación por superficie para las máquinas de pivote central en los trabajos de Pacheco *et al.* (1995), Pérez (1998) y Pacheco *et al.* (2003).

Los valores de CUp pueden clasificarse según SIAR (2003) de la forma siguiente:

< 80% Inaceptable

80-85% Aceptable

85-90% Bueno

> 90% Muy Bueno

2.6 El agua en el cultivo de la papa. Necesidades hídricas

La papa (*Solanum tuberosum* L.), es un cultivo herbáceo, perteneciente a la familia *Solanaceae*, cuyos tubérculos constituyen un alimento muy apetecido (López *et al.*, 1995).

El suelo tendrá que compensar, en un máximo posible, las fluctuaciones del suministro de agua y ofrecer, al mismo tiempo, condiciones favorables para las necesidades de aire y espacio de los órganos subterráneos de la papa. Para la papa se prefieren los suelos que tengan buena capacidad de retención de humedad, pero no son convenientes los que tengan mal drenaje (López *et al.*, 1995).

En Cuba el riego es necesario, pues las precipitaciones durante el período seco del año no son suficientes para obtener un desarrollo adecuado del cultivo. La papa es un cultivo muy exigente en agua, aunque un exceso reduce el porcentaje en fécula y favorece el desarrollo de enfermedades. Desde la siembra, el estado hídrico del suelo tiene influencia sobre toda la evolución del cultivo. Las alternancias de períodos secos y húmedos dan lugar a modificaciones en la velocidad de engrosamiento de los tubérculos, ya que son el origen de ciertos defectos como (grietas, surcos, estrechamientos, etc.). Antes de la tuberización un ligero déficit hídrico favorece el desarrollo de las raíces. Generalmente el método de riego empleado en el cultivo de la papa es el de aspersión con instalaciones móviles (Santos, 2018). Actualmente alrededor del 80% del área total de papa plantada en el país, se benefician del riego con máquinas de pivote central (hidráulicas y eléctricas) que garantizan

una eficiencia de aplicación media entre el 75% y 85% en dependencia de la posición del emisor (aspersor o boquilla) con respecto al follaje de la planta. Los aspersores de baja presión son los más recomendados ya que su gasto y potencia de bombeo son mínimos y el riego es de calidad, aunque es exigente en mano de obra. Las máquinas con bajantes y boquillas colocadas por encima y próxima al follaje han demostrado su efectividad en el riego de la papa al garantizar una aplicación uniforme por tener menor influencia del viento. Esta tecnología por su productividad, baja presión de trabajo, ahorro de combustible es considerada como la de mayor perspectiva para el cultivo en áreas mayores a las 13.42 ha (MINAGRI, 2016).

Para satisfacer las necesidades de agua, la papa necesita entre 400 y 800 mm de agua, de acuerdo con las condiciones climáticas y la duración del cultivo. Durante el periodo de tuberización las necesidades hídricas pueden llegar hasta 80 m³/ha/día. Se debe considerar que el exceso de agua en el suelo, provoca un desarrollo pobre de las raíces, la pudrición de los tubérculos recién formados y de los que se utilizan como semilla, los cuales son especialmente susceptibles a la pudrición, máxime si se plantan y tapan estando húmedos. La etapa más crítica en que la deficiencia de humedad en el suelo perjudica el cultivo, es la de formación de tubérculos (Solano *et al.*, 1999).

3. Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el campo 3 de la UEB Pararrayos de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú, ubicada en la carretera a Sagua, en el municipio de Santa Clara, provincia Villa Clara en el período comprendido de enero 2017 a mayo 2018. Los experimentos de campo se realizan en un suelo pardo mullido medianamente lavado según la nueva versión de clasificación de los suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 2015).

Se utilizó una muestra intencional por ser un cultivo priorizado en las máquinas de riego y por haberse plantado en la misma área la variedad (Faluka) en los cuadrantes 1, 2 y 4. La siembra se realizó el 7 de enero del 2018 de forma mecanizada, con un marco de plantación de 0.90x0.30 m, se depositó una semilla por nido, a una profundidad de 0.20 m aproximadamente, quedando plantada 15 ha. Las atenciones culturales se desarrollaron según el Instructivo Técnico y se realizaron los riegos correspondientes según las etapas del cultivo.

La máquina de riego evaluada pertenece a la firma TUSA, fue montada en noviembre del 2008, cuenta con 4 tramos y un voladizo, el pivót posee una altura de de 2.90 m y diámetro de 150 mm, las boquillas (109) son Spray D3000B, el sistema trabaja a una presión de 1.9 bar. La Tabla 1 y 2 muestra las características de la máquina.

Tabla 1. Características de la máquina de pivote central Tusa

| Máquina | Tipo | Longitud (m) | Gasto(L/s) | Área (ha) | Área real (ha) | Coordenadas |
|---------|------|--------------|------------|-----------|----------------|------------------------|
| Campo 3 | Tusa | 234.3 | 76.94 | 17 | 15 | X:604.898 Y:290.660 |

Tabla 2. Características de la máquina de pivote central Tusa

| Tramos | Longitud (m) | No.bajantes |
|----------|--------------|-------------|
| 1 | 49.7 | 20 |
| 2 | 49.7 | 23 |
| 3 | 54.9 | 27 |
| 4 | 54.9 | 27 |
| Voladizo | 25.1 | 12 |

La Tabla 3 muestra la aplicación de agua por revoluciones de la máquina según el fabricante.

Tabla 3. Aplicación de agua por revoluciones de la máquina según el fabricante

| Aplicación de Agua (mm) | Configuración Cronometro (%) | Velocidad Ultima Torre (m/min) | Tiempo por Revolución horas |
|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 3.31 | 100 | 3.05 | 7.16 |
| 3.67 | 90 | 2.74 | 7.96 |
| 4.13 | 80 | 2.44 | 8.95 |
| 4.72 | 70 | 2.13 | 10.23 |
| 5.09 | 65 | 1.98 | 11.02 |
| 5.51 | 60 | 1.83 | 11.93 |
| 6.01 | 55 | 1.68 | 13.02 |
| 6.61 | 50 | 1.52 | 14.32 |
| 7.35 | 45 | 1.37 | 15.91 |
| 8.27 | 40 | 1.22 | 17.9 |
| 9.45 | 35 | 1.07 | 20.46 |
| 11.02 | 30 | 0.91 | 23.87 |
| 13.23 | 25 | 0.76 | 28.64 |
| 16.53 | 20 | 0.61 | 35.8 |
| 22.04 | 15 | 0.46 | 47.73 |
| 27.56 | 12 | 0.37 | 59.67 |
| 36.74 | 9 | 0.27 | 79.56 |
| 55.11 | 6 | 0.18 | 119.34 |
| 110.22 | 3 | 0.09 | 238.67 |

3.1 Necesidades y potencialidades del sistema de riego aéreo

Para la obtención de datos sobre el sistema de riego de pivote central empleado, se realizó la observación de la fuente de abasto, la estación de bombeo y todos los componentes de la máquina desde el pivot hasta el voladizo, primeramente, se realizó en descanso sobre la guardarraya y luego en funcionamiento. Además se desarrollaron dos talleres con campesinos y

obreros que se abastecen para sus producciones del agua proveniente de esta fuente de abasto.

Se determinó la tensión de humedad del suelo del Campo 3 de la UEB Pararrayo en los meses de febrero y marzo, hasta el 15 de febrero no se dispuso de los tensiómetros, no obstante, en el mes de enero no se pudo regar pues la incidencia de la lluvia mantenía el suelo húmedo pues cayeron cerca de 780 m³/ha. Se colocaron 3 tensiómetros, dos de ellos a una profundidad de 20 cm y el restante a una profundidad de 40 cm, los tensiómetros fueron preparados antes de instalarse en el campo como refleja la bibliografía consultada (Megh, 2002), se usó agua hervida para evitar el aire disuelto que interfiere en la lectura y con el agua se mezcló detergente para evitar el crecimiento de algas y bacterias dentro del tensiómetro. Se abrieron 3 orificios en el perfil del suelo, 2 de ellos a 20 cm de profundidad y el otro a 40 cm, se preparó una pasta de agua y tierra, la cual, se añadió a los tensiómetros después de colocarlos en los orificios correspondientes para que las cápsulas porosas tuvieran un buen contacto con el suelo (Fig. 2).

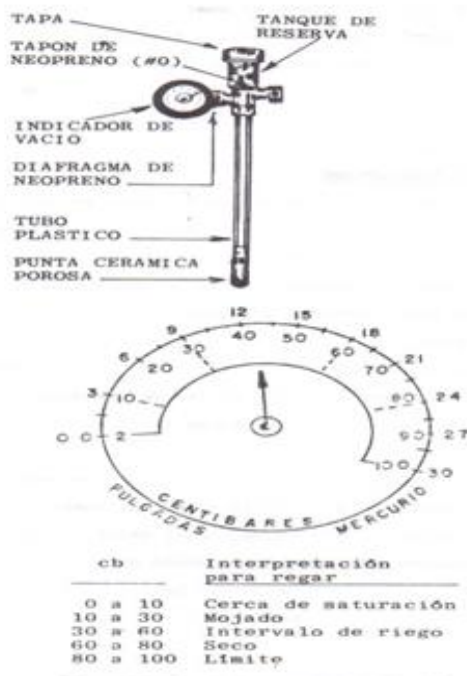


Figura 2. Características del tensiómetro

Esto facilitó datos importantes para determinar los problemas que atentan contra el buen funcionamiento de la máquina y tratar de corregirlos para desarrollar una productiva campaña de papa.

3.2 Coeficiente de Uniformidad de riego aéreo

Para determinar la pluviosidad de los emisores se realizó una evaluación pluviométrica a la técnica de riego; 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). La evaluación se realizó en las primeras horas del día para evitar la incidencia de vientos fuertes y que este factor no interfiriera en los resultados del trabajo, se hicieron dos mediciones, la primera en el mine (riego antes de la siembra, el 29/12/2017) para ver con que Coeficiente de Uniformidad Ponderado se contaba y la segunda en el mes de marzo en el 9no riego el 24/3/2018. Se colocaron 109 colectores (uno por emisor), de 10.5 cm de diámetro y 5 l de capacidad, a una distancia de 2.0 m, los emisores estaban colocados a 1 m de altura. La pluviometría recogida se midió in situ con una probeta graduada de 250 ml y una precisión de 1 ml. Los datos pluviométricos obtenidos (volúmenes medidos) fueron empleados en el cálculo del Coeficiente de Uniformidad Ponderado, teniendo en cuenta la Media Ponderada del 25% menos regado y la Uniformidad de Distribución Ponderada por el software Pluviopivot (Anexo 1), que se utiliza en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú desde 2005, desarrollado por Pacheco y Pacheco (2004) que incorporaron en su algoritmo de cálculo las fórmulas descritas por Tarjuelo (2005).

Coeficiente de Uniformidad Ponderado:

$$CU_p = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n n_i (m_i - m_p)}{m_p \times \sum_{i=1}^n n_i} \right] \times 100$$

Donde:

CU_p = Coeficiente de Uniformidad Ponderado de las alturas de agua recogidas.

Media Ponderada del 25% menos regado:

Para el cálculo de la Media Ponderada del 25% menos regado se realiza una ordenación de menor a mayor de las alturas de agua recogidas. Esos valores se multiplican por su posición ocupada en el radio del pivote y se suman hasta que el número de posiciones de esa suma alcance un valor igual o inmediatamente superior al 25% de la suma de posiciones totales.

$$m_{25p} = \frac{\sum_{j=1}^b m_j n_j}{\sum_{j=1}^b n_j}$$

Donde:

M_{25p} = altura media ponderada recogida en el 25% del área menos regada.

J = subíndice de ordenación de menor a mayor de las alturas de agua recogidas en los pluviómetros.

b= es un valor tal que se cumpla que:

$$\sum_{j=1}^b n_j \cong \frac{\sum_{i=1}^n n_i}{4}$$

Uniformidad de Distribución Ponderada:

$$UD_p = m_{25p}/m_p$$

UD_p = uniformidad de distribución ponderada de las alturas de agua recogidas.

Esto permitió conocer el estado técnico, los principales parámetros de funcionamiento y algunos factores que distorsionan la uniformidad del reparto de agua y que tienden a manifestarse en los sucesivos riegos (Tarjuelo, 2005).

Las variables climáticas fueron registradas en la estación 78343 ubicada en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú para corroborar las mediciones de campo y las precipitaciones se midieron mediante un pluviómetro ubicado en la máquina de riego.

3.3 Componentes de rendimiento analizados en el cultivo de la papa en el momento de la cosecha

- Rendimiento del cultivo en toneladas por hectáreas (t/ha).

Para calcular el rendimiento del cultivo en t/ha se pesó la cosecha de toda el área que cubría la máquina en las balanzas de ACOPIO.

- Peso promedio de los tubérculos por planta.

Para calcular el peso promedio de los tubérculos por planta, se seleccionaron dos parcelas de 1mx1m por tramo/ cuadrante de la variedad Faluka y se realizó el pesado de los tubérculos por planta.

Los valores obtenidos en las mediciones del peso promedio de los tubérculos por tramos de la máquina de riego fueron sometidos a un análisis estadístico con el procesador STATGRAPHICS plus 5.0 sobre Windows 8, utilizándose las pruebas de Duncan para análisis de varianza y comparaciones de medias.

4. Resultados y discusión

4.1 Necesidades y potencialidades del sistema de riego aéreo

4.1.1 Fuente de abasto

La entidad cuenta con un pequeña laguna próxima a la estación de bombeo cuya agua proviene de la presa Arroyo Grande 1 y 2 que posee un agua utilizada por la población de la ciudad de Santa Clara, es decir la misma presenta desechos y por tanto altos contaminantes en este lugar de almacenamiento, periódicamente se le realizan análisis químicos y físicos al agua por parte de los laboratorios municipales y provinciales de Salud Pública, hasta ahora los parámetros están en el máximo límite permisible para ser utilizados en el riego según la dirección de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú. Aquí podemos encontrar una situación hasta cierto punto preocupante ya que los alimentos que se producen son consumidos en su mayoría frescos y por personas de todas las edades (tomate, col y pepino) y el agua con la que están siendo regados no proviene de la fuente idónea.

Por parte de la dirección de la entidad se han realizado intentos para la construcción de pozos que permitan obtener agua de calidad, pero la zona en la que se encuentran no posee una buena red de manantiales según estudios realizados.

4.1.2 Talleres

Una vez observada la calidad física del agua de riego, decidimos realizar dos talleres a manera de investigar y profundizar en la calidad del agua, con la participación de los trabajadores de la UEB y los campesinos que residen en la zona y se aprovechan de las aguas para las producciones agrícolas y consumo (Fig. 3).



Figura 3. Trabajadores de la UEB Pararrayo y los campesinos que residen en la zona

El primer taller arrojó como resultado un trabajo conjunto que culminó con la limpieza de la micropresa que recoge el agua emitida desde la presa arroyo grande 1, de esta manera se reduce en un 50% la posibilidad de tupiciones en el equipo de bombeo y por consiguiente de los elementos de aspersion que se colocan desde los hidrantes, se redujo la tupición de los bajantes y boquillas de las máquinas de riego.

El segundo taller trajo como resultado una explicación por parte de este investigador sobre las cantidades necesarias de agua para los cultivos, se abordó la diferencia entre norma parcial neta (Mpn) y norma parcial bruta (Mpb), implicaciones en la agricultura del mal uso de las cantidades de agua, los participantes se mostraron interesados y se comprometieron a usar eficientemente el agua con que cuentan para las cosechas tratando de mejorar las condiciones técnicas que tienen para el riego.

4.1.3 Estación de bombeo y componentes de la máquina de pivote central

La estación de bombeo está constituida por una caseta de mampostería que en su interior guarda un motor, una bomba y la instalación eléctrica (Fig. 4), es el conjunto de elementos que dominan toda la instalación y sirve para proveer presión y caudal al sistema en cualquier parte del mismo (Pacheco *et al.*,

2008). En la estación de bombeo no se valora la presión de agua que entra a la conductora principal porque no existe un manómetro que lo indique.



Figura 4. Estacion de bombeo, motor e intalación eléctrica

Dentro de la estación de bombeo hay que velar por el correcto estado de otros elementos que garantizan el adecuado funcionamiento del sistema. El manual de instalación de la TUSA ubicada en el campo 3 no plantea en la carta tecnológica para el montaje la necesidad de un filtro, esto está dado porque en el mundo el agua que se utiliza para riego son aguas limpias que aún cuando son recicladas pasan por plantas de tratamientos o provienen de pozos. Sin embargo, la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú utiliza aguas residuales procedentes de la ciudad de Santa Clara.

Según Fernández *et al.* (2014) la instalación debía contar con un filtro que sería el encargado de limpiar las impurezas que presenta el agua. Como puede observarse este elemento está ausente por lo que las impurezas, pasan directamente desde la toma de agua a hidrantes, tuberías, pivot y llega hasta las boquillas, provocando obstrucciones al agua de riego (Fig. 5). En los meses poco lluviosos se deprime la cantidad de agua al punto que se reduce a menos de la mitad de la capacidad, por lo cual se ve amenazada la actividad del riego y es necesario que el operador verifique la cantidad de agua que en ocasiones no es suficiente para la bomba Sagua 1, este el momento de mayor entrada de desechos sólidos a la máquina de riego debido al bajo nivel de agua.



Figura 5. Fuente de abasto y boquillas obstruidas

El agua es un elemento fundamental para la obtención de las cosechas, pero en ocasiones se puede producir daños al cultivo, afectando la biodiversidad y el medio ambiente, esto ocurre en la máquina del campo 3, al tener salideros en hidrantes, tuberías principales y bajantes (Fig. 6), que no permiten la correcta entrega de la Norma parcial neta (Mpn), por lo tanto, se produce encharcamiento en algunas zonas del campo y por consiguiente esto despliega una serie de problemas como:

- Afectación de la microflora y microorganismos del suelo
- Concentración de sales
- Aparición de tizones



Figura 6. Salideros en hidrante, tubería principal y bajante

4.1.4 Tensión de humedad del suelo

Al analizar los resultados obtenidos del tensiómetro acerca de la humedad en suelo en el mes de febrero, en el perfil de 0-20 cm de la capa activa del cultivo los valores de tensión son mayores, a diferencia del perfil 20-40 cm de profundidad que son menores. El suelo en los primeros 20 cm de capa activa,

llegó a superar los valores de 60 Cb de tensión después del 25, estos son valores de tensión donde la planta comienza a caer en estrés hídrico lo que puede afectar los rendimientos máximos, pero a los 40 cm de profundidad las tensiones eran aún bajas. La decisión de riego debe tomarse teniendo en cuenta la profundidad donde se encuentra el mayor porcentaje de raíces en esa fase del cultivo. No se realizó el riego porque el 27 cayeron 20 mm de lluvia equivalente a 200 m³/ha (Fig. 7).

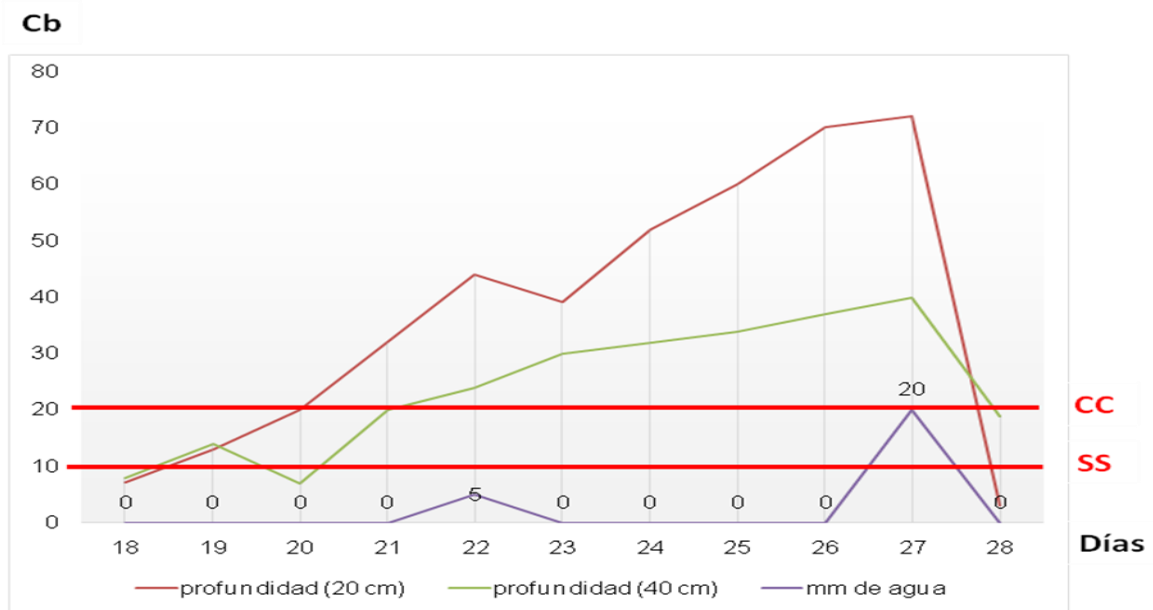


Figura 7. Lectura de tensiómetros en el mes de febrero

En el mes de marzo las tensiones de humedad en los primeros 20 cm de capa activa del cultivo, son valores generalmente mayores que las tensiones a 40 cm de profundidad en el suelo. Hasta el día 9 de marzo los valores de tensión en 20 y 40 cm de profundidad eran adecuados y fueron controlados por los riegos realizados. Pero, a partir del 10 se observan valores superiores a los 60 Cb a partir del 18 los valores toman lecturas de 68 y más, el suelo no tiene la humedad necesaria para el desarrollo del cultivo y el mismo se encuentra en estrés por falta de agua, esto se debe a rotura en la máquina de riego y problemas administrativos relacionados con sucesivas entradas y salidas de la fumigación que no completaba el campo. Esta falta de agua se produjo durante casi una semana en la fase de engrosamiento de los tubérculos, lo que sin dudas debió perjudicar los rendimientos posibles a obtener, el último riego se

efectuó el 24 de marzo y por rotura no se completó el 4to cuadrante, no se pudo realizar el riego para cubrir el déficit de agua y no se pudo regar antes de la cosecha. Los riegos del 14, 21 y 24 de marzo, no fueron suficientes para cubrir los requerimientos hídricos necesarios del cultivo en estudio y no se aprecia variación en las lecturas de los tensiómetros en 20 y 40 cm (Fig. 8).

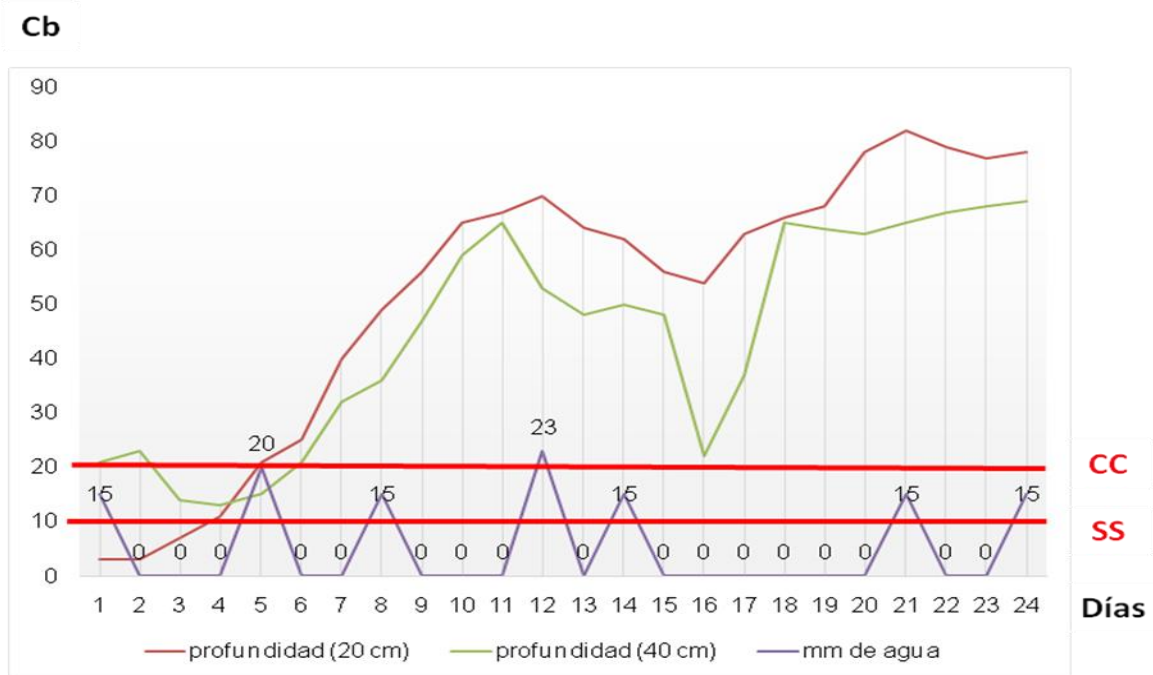


Figura 8. Lectura de tensiómetros en el mes de marzo

Los valores de humedad de 0-40 cm de profundidad del suelo son mayores que los de 0-20 cm pues en esta primera capa además de la planta tomar agua ejerce su influencia la evaporación directa del sol. La humedad del suelo es mayor con el incremento de la profundidad de la capa activa del suelo, los valores registrados entre 50-60% en la profundidad de 30-40 cm, se refieren a suelo muy húmedo después del riego o lluvias. Se destaca en esta figura, en coincidencia con las tensiones, que hubo momentos en febrero y en marzo donde la humedad del suelo en la capa 20-40 cm estaba por debajo del límite productivo de humedad (Fig. 9).

Cb

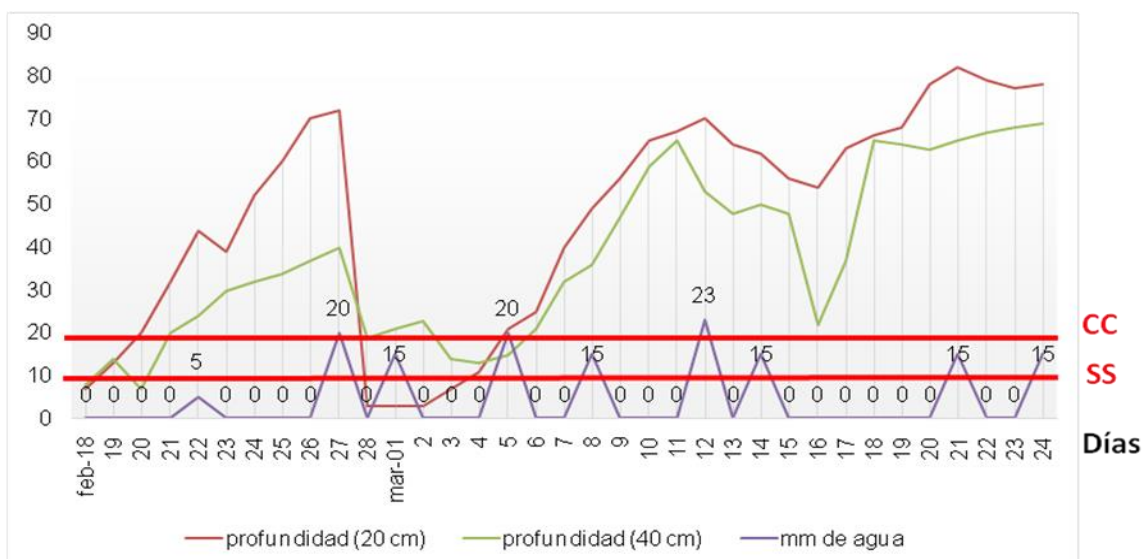


Figura 9. Humedad del suelo en las capas 0-20 cm y 0-40 cm

A pesar de que nuestro país aboga por el uso racional del agua, en ocasiones la planificación del agua para riego no es la correcta y resulta muy difícil desde la producción hacer ver a los directivos que las mediciones exigen la cantidad calculada y no la planificada por la entidad.

4.2 Coeficiente de Uniformidad de riego aéreo

1ra medición en el mine

La evaluación de la máquina de riego en el mine (Anexo 2) arrojó que trabaja a un 82% por lo que se corresponden con los parámetros de aceptable según SIAR (2003) pero la observación de la maquina permitió ver que la torre 3 presenta salideros y obstrucciones por lo que se decidió volver a introducir los datos de los bajantes 44 al 70 (Anexo 3) y el resultado de este tramo ofrece un Coeficiente de Uniformidad Ponderado de 69.8% que resulta inaceptable según SIAR (2003).

Jiménez *et al.* (2012) señalan que el Coeficiente de Uniformidad no debe ser el parámetro que determine si el área está bien regada, si no el área adecuadamente regada.

Observado los resultados y consultados con la dirección del campo 3 de la UEB Pararrayo en la medida de las posibilidades se sustituyeron las boquillas 2, 3, 7, 17, 21 y 22 del tramo 3 (que presentaban el mayor número de

desperfectos) por números similares con diámetro aproximado (Fig. 10). Cuando se compra una máquina de pivote central que tiene un precio aproximado en el mercado mundial de 10 000 dólares, viene con el número exacto de boquillas. No es un secreto que no contamos con piezas de repuesto por lo que se sustituye con piezas de máquinas ya discontinuadas que en ocasiones no tienen la calibración exacta que se necesita, o con boquillas de producción nacional que hasta ahora no muestran los mejores resultados.



Figura 10. Sustitución de boquillas en el tramo 3

Segunda medición en el noveno riego

La evaluación de la máquina en el 9no riego después de realizado la sustitución de las boquillas (Anexo 4) arrojó que trabaja a un 88.2% superior a la 1ra evaluación realizada y corresponde con los parámetros de bueno según SIAR (2003), pero a pesar de los esfuerzos realizados siguió siendo la tercera torre la de salideros y mayores problemas en las boquillas, aunque con un Coeficiente de Uniformidad Ponderado de 79.8% (Anexo 5) mayor también que en la 1ra evaluación en este mismo tramo de la máquina, pero resulta inaceptable según SIAR (2003).

La Tabla 4 muestra los resultados de las evaluaciones obtenidos, a partir del software pluviopivot.

Los valores del Coeficiente de Uniformidad Ponderado variaron entre 82% y 88.2%, para boquillas colocadas a 1.0 m de altura, sin regulador de presión. Estos se aproximan al rango establecido de 80-90%, que de acuerdo con lo señalado por Tarjuelo (2005) en sus investigaciones que en estas condiciones las parcelas han sido bien regada, coincidiendo con Montero *et al.* (2005) que consideran a una parcela bien regada cuando se consigue un Coeficiente de

Uniformidad entre el 80% y 90%, con valores mayores al 90%, muy bien regada y en cambio con valores menores al 80% consideran que el pivote no riega adecuadamente. Además, coincide con los resultados obtenidos por Pérez (2009) y Olema (2010) quienes determinaron un CUp superior en todos los casos al 80 %, para condiciones similares a las planteadas en este estudio

Los resultados alcanzados difieren con los obtenidos por Jiménez *et al.* (2012), quien reportó coeficiente de uniformidad ponderado de 71.17% con máquina de pivote central de la firma Otech-Irrimec, con la variante de boquillas difusoras Spray Nelson D3000K, a 1 m de altura con regulador de presión y contrapeso. También difieren con los alcanzados por Cueto (2011), y Machado (2012) quienes arrojaron coeficientes de 75.4% y 76% respectivamente

Por otra parte, García (2016) estudiando los coeficientes de uniformidad en máquinas de pivote central asegura que para cultivos de alta rentabilidad y sistemas radicales superficiales los Coeficientes de Uniformidad no deben ser inferiores al 88%, mientras que para cultivos extensivos de profundidad radical media deben estar entre el 82% y el 88%.

La evaluación 2 posee el valor más alto con un 88.2%. Este parámetro estadístico, según Bremond y Molle (1995), está basado en el coeficiente de variación, por lo que es más sensible a las variaciones extremas de la lámina recogida por los colectores que el CUp.

Debemos señalar que un elemento importante a considerar, es que se trabajó con una máquina de pivote central donde la pendiente del terreno es pequeña por lo que las variaciones de presión no son altas.

En relación con la Uniformidad de Distribución Ponderada (UDp) se obtuvieron valores poco elevados estos resultados también se asemejan a los obtenidos por Tarjuelo (2005) y por Montero (2005). La primera medición tuvo como resultado 65.3%, este valor no se adecua al rango propuesto por De Santa Olalla *et al.* (1993) quienes consideran que tal parámetro para equipos de pivote central debiera estar entre 70% y 80%. No existe correspondencia con los obtenidos por Rodríguez *et al.* (2005) quienes señalaron una uniformidad de distribución del 78. 45%, con máquina pivote central Rockink, modelo S2 AF 3000-15. Por otra parte Jiménez *et al.* (2012) en diferentes lugares del país, con distintos modelos de máquinas y emisores, demostró valores de

distribución que van desde 52.23% a 89.65%, siendo similares al obtenido en Quivicán, Matanzas y Ciego de Ávila con valores de 67.41%, 61.29% y 62.18%, estas tres últimas con modelo Western. La uniformidad de distribución tiene poca influencia en el área adecuadamente regada, debido a que este indicador representa el 25% de los valores más bajos, y precisamente estos no se tienen en cuenta para el cálculo de este parámetro (Jiménez *et al.*, 2010).

Tabla 4. Parámetros técnicos y de calidad del riego, de la máquina eléctrica de Pivote Central Tusa campo 3 Pararrayo

| Parámetros | UM | Evaluación | |
|---|-----|------------|--------|
| | | 1 | 2 |
| Lámina real obtenida | mm | 10.872 | 16.428 |
| Lámina del 25% de menor Pluviometría. | mm | 7.104 | 12.948 |
| Coefficiente de Uniformidad Ponderado (CUp) | % | 82.0 | 88.2 |
| Coefficiente de Variación Ponderado (CVp) | % | 25.4 | 14.9 |
| Uniformidad de Distribución Ponderada (UDp) | % | 65.3 | 78.8 |
| Presión de trabajo | bar | 1.9 | 1.9 |
| Velocidad del viento | m/s | 0.5 | 9.8 |

A pesar de que la máquina cuenta con diez años de explotación se mantiene trabajando por el mantenimiento recibido por parte del taller de riego y por la sustitución de algunos elementos, en estos momentos es necesario la sustitución de 18 bajantes y en toda la máquina se necesita arreglar o sustituir un total de 12 boquillas, el resto lleva en su mantenimiento revisión y limpieza después de cada riego pues las impurezas quedan atrapadas en el interior de las mismas.

4.3 Componentes de rendimiento analizados en el cultivo de la papa en el momento de la cosecha poner el rendimiento

La cosecha comenzó el 30 de marzo del 2018, arrojó un rendimiento de 22.2 t/ha, según lo pesado por Acopio del campo 3 de la UBPC-3, en la E.A del Yabú. Rendimiento que no supera la media histórica del Yabú en la última

década papera (30 t/ha) y menor a los rendimientos de la pasada campaña (27 t/ha).

El peso promedio de los tubérculos por planta tuvo un valor de 433.9 g. Los tramos 1, 2, 4 y el voladizo aportaron un adecuado peso promedio de tubérculos por planta, quedando por debajo el tramo 3 con un valor de 338.4 g. Las evaluaciones no muestran diferencia significativa de los tramos 1,2 4 y el voladizo en ninguno de los tres cuadrantes evaluados, sin embargo el tramo 3 presenta diferencias significativas mostrando el valor más bajo en la producción (Tabla 5), en este tramo de la máquina también se muestra el menor coeficiente de uniformidad en la distribución del riego, por lo que el investigador asocia los bajos rendimientos a las condiciones de riego.

En condiciones de campo donde acontecen todos los factores limitantes o no, que influyen en la producción del cultivo, el rendimiento es una respuesta a los factores meteorológicos y de campo que intervienen directamente sobre el mismo (Pereira, 2017).

Tabla 5. Peso promedio de tubérculos por plantas

| Tramos de la máquina | Peso de tubérculos (g) | | |
|----------------------|------------------------|-------------|-------------|
| | Cuadrante 1 | Cuadrante 2 | Cuadrante 4 |
| t1 | 455.063a | 456.938a | 464.824a |
| t2 | 451.444a | 456.556a | 469.933a |
| t3 | 334.056b | 334.722b | 347.688b |
| t4 | 459.625a | 459.941a | 461.4a |
| Voladizo | 461.0a | 458.056a | 456.143a |

* a, b, medias con letras no comunes en una misma columna difieren a $p < 0.05$ (Duncan, 1955)

Se obtuvo mayor peso en los tratamientos que mayor (CUp) arrojaron en la evaluación pluviométrica realizada, traduciéndose en mayor rendimiento por planta, siendo el tercer tramo en cada cuadrante los de menor peso y rendimiento. El rendimiento alcanzado por las plantas en esta investigación es

similar al obtenido por Linares (2012) quien reportó resultados de este indicador entre 0.2 y 0.6 kg y difiere con Jerez y Martín (2012), quienes obtuvieron valores que van desde 0.6 a 1.02 kg.

Conclusiones

1. La máquina de pivote central que se utiliza en el campo 3 de la UEB Pararrayos presenta salideros y tupiciones en boquillas que afectan la uniformidad del riego en la torre. El manejo de las aguas del sistema de riego aéreo por máquinas de pivote fue tratado con trabajadores y campesinos del lugar en talleres realizados, esto permitió impulsar a las personas comprometidas a tomar conciencia acerca del uso racional de las aguas y del efecto medioambiental, y los participantes decidieron limpiar la laguna para mejorar las condiciones de riego de las áreas correspondientes al campo 3.
2. El cálculo del Coeficiente de Uniformidad Ponderado de riego a través del software Pluviopivot ofreció resultados clasificados de bueno por estar en el rango de 80 a 90%, sin embargo, el resultado estadístico del tramo 3 de la máquina de riego, ofreció resultados inaceptables por lo que permitió hacer un análisis, cambiar boquillas y mejorar el riego en esta área.
3. El rendimiento agrícola resultante de la cosecha 2018 fue de 22.2 t/ha y el peso promedio de los tubérculos cosechados en el área del tramo 3 de la máquina de riego ofreció valores inferiores a los obtenidos en el resto de los tramos, esto puede estar asociado entre otras causas al riego efectuado.

Recomendaciones

1. Actualizar y modernizar el software Pluviopivot para el cálculo del Coeficiente de Uniformidad Ponderado y otros parámetros.
2. Utilizar tensiómetros en todas las áreas productivas que faciliten información sobre el momento del riego.
3. Fragmentar según los tramos que tenga la máquina la evaluación pluviométrica que se les realiza antes de comenzar cada siembra para garantizar altos rendimientos.

Referencias bibliográficas

1. Bremond, B.; Molle, B. 1995. Characterization of rainfall under pivot: influence of measuring procedure. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 121 (5), 347- 353 pp.
2. CENHICA. 2013. Informe final del proyecto regionalización hidrológica y del balance hídrico para las condiciones de Cuba.
3. Christiansen, J. E. 1942. Irrigation by Sprinkling. *California Agric. Exp. Sta. Bul.670 Berkeley*. Universidad de California. USA.
4. Cisneros, R. A. 2003. Universidad Autonoma de San Luis Potosi .Facultad de Ingeniería .Centro de Investigacion y estudios de posgrado y area agrogeodésica .Apuntes de la materia de riego y drenaje.164 pp.
5. Cueto, Y. 2011. Programación del riego de la papa (*Solanum tuberosum* L.) con máquinas de pivote central, en la Empresa Cultivos Varios “Valle del Yabú”. Tesis de Diploma. Carrera de Agronomía, UCLV. Villa Clara, Cuba. 59 pp
6. Curtis, L. M.; Larry, R. W.; Tyson, T. W. 2006. Irrigation System Cost Analysis 2005-2006, Timely Information EE 05-06 -2, Alabama Cooperative Extension System, Auburn University.
7. De Santa, O.; Mañas, J.; Valero, J. 1993. *Agronomía del riego*. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 733 pp
8. Duncan, D. 1955. Multiple and multiple F-test. *Biometrics*, 11:1-42.
9. Faci, J.; Bercero, A. 1990. Desarrollo de coeficientes de uniformidad ponderados con la superficie en evaluaciones de riego de ramales autotransportados giratorios (pivotes). *Investigación Agr.: Producción y Protección Veg. España*. Vol. 5(1): 103-113 pp.
10. Fernández de Sousa, M. y García, G. 2014. El sistema de riego. Área de Experimentación y Demostración Agroganadera. *Revista de Tecnología Agroalimentaria* - n.º 14.
11. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2009. Faostat data base. Rome, Italy. Sitio Web: <http://faostat.fao.org/> [Consultado: enero-2018].
12. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2017. El agua fuente de seguridad alimentaria. Día Mundial de la Alimentación.

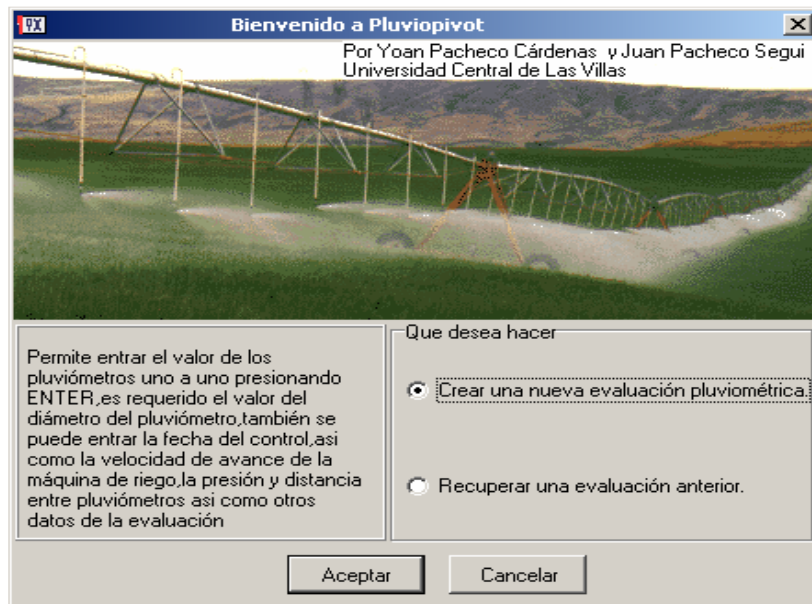
13. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2015. Proyecto TCP/CUB/0167. (E). Áreas bajo riego. Estudio básico de Drenaje. La Habana.
14. García, A. 2016. Estudios de factores que limitan la eficiencia técnica y económica de los pivotes centrales. Tesis en opción al título de Master en Riego y Drenaje. Universidad Agraria de La Habana.
15. Gonzáles. 2014. Análisis económico de las tecnologías de riego utilizadas en el cultivo de la papa, adaptabilidad, ventajas y desventajas.
16. González, P. 2004. Manual para el diseño y operación de máquinas de pivote central. 64 pp.
17. Hargreaves, G. H.; Samani, Z. A. 1991. Programación del Riego. Un Manual Bilingüe .Editts.U.S.A.
18. Heermann, D. F.; Hein, P. R. 1968. Performance characteristics of self-propelled center pivot sprinkler irrigation systems. Trans of the ASAE 11 (1) 11-15. USA.
19. Hernández, A. 2015. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba, La Habana, Instituto de Suelos, MINAG.
20. Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD). 2005. Catálogo de productos. Ciudad de la Habana.
21. Jerez, E.; Martín, R. 2012. Comportamiento del crecimiento y rendimiento de la variedad de papa (*Solanum tuberosum* Sw.) Spunta. Cultivos Tropicales, Vol.33, no.4, p.53-58 ISSN- 1819-4087.
22. Jiménez, E.; Domínguez, .M; Pérez, .R; Montero, L. 2010. Estudio de la uniformidad de riego en una máquina de pivote central. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol. 19, No.1 Enero –Marzo, p 73-78,2010 ISSN-1010-2760, RPNS-0111.
23. Jiménez, E.; González, B.; Domínguez, M. 2012. Relación entre los parámetros de uniformidad de riego en máquinas de pivote central. Revistas Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 12(3) Julio-Septiembre2012. ISSN-2071-0054, RNPS-2177.
24. Linares, M. 2012. Influencia del número de tallos en el crecimiento y rendimiento de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedades Atlas y Romano. Tesis para aspirar al título de Ingeniero Agrónomo. 36 p.

25. López, M.; Vázquez, E.; López, R. 1995. La papa. Raíces y tubérculos. Editorial Pueblo y Educación, Habana. 225-312 pp.
26. Machado, Y. 2012. Determinación de la calidad de riego con máquina de pivote central en la UBPC 3 de la Empresa Agropecuaria "Valle del Yabú".
27. Martínez. 2015. Plan de medidas para la disminución del consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctricas de la UBPC-3 "Jesús Menéndez" en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú. Tesis presentada En opción al Título Académico de Máster en Ingeniería Agrícola. UCLV.
28. Megh, R. 2002. Manejo de Riego por Goteo. Capítulo V. El Tensiómetro: su uso, instalación y mantenimiento. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico. Sitio Web: <http://www.ece.uprm.edu/~mgoyal/home.htm>. [Consultado diciembre-2017]
29. Merriam, J. L.; Keller, J. 1978. Farm irrigation systems evaluation. A guide for management, Utah State University.USA. 235 pp.
30. Merriam, L.; Sheare, M. N.; Burt, C. M. 1980. Evaluating irrigation systems and Practices. En: Design and operation of farm irrigation systems. Ed: M.E. Jensen. ASAE.Michiogan. 721-776 pp. USA.
31. MINAGRI. 2016. Balance de áreas bajo riego. Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje. Ciudad de la Habana.
32. Montero, J. 1997. Análisis de la distribución de agua en riegos con equipos pívot. XV Congreso nacional de riegos, Lérida. 481-490 pp.
33. 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.
34. NC: 115:45. 2005. Máquinas agrícolas para riego - pivotes centrales y máquinas de avance frontal equipadas con boquillas difusoras o aspersores – determinación de la uniformidad de distribución del agua.
35. Olema, B. 2010. Programación de riego en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) utilizando una máquina de pivote central en la UBPC-2 de la Empresa Cultivos Varios "Valle de Yabú". Tesis de Diploma Carrera de Agronomía, UCLV. Villa Clara, Cuba. 45. 39 pp.

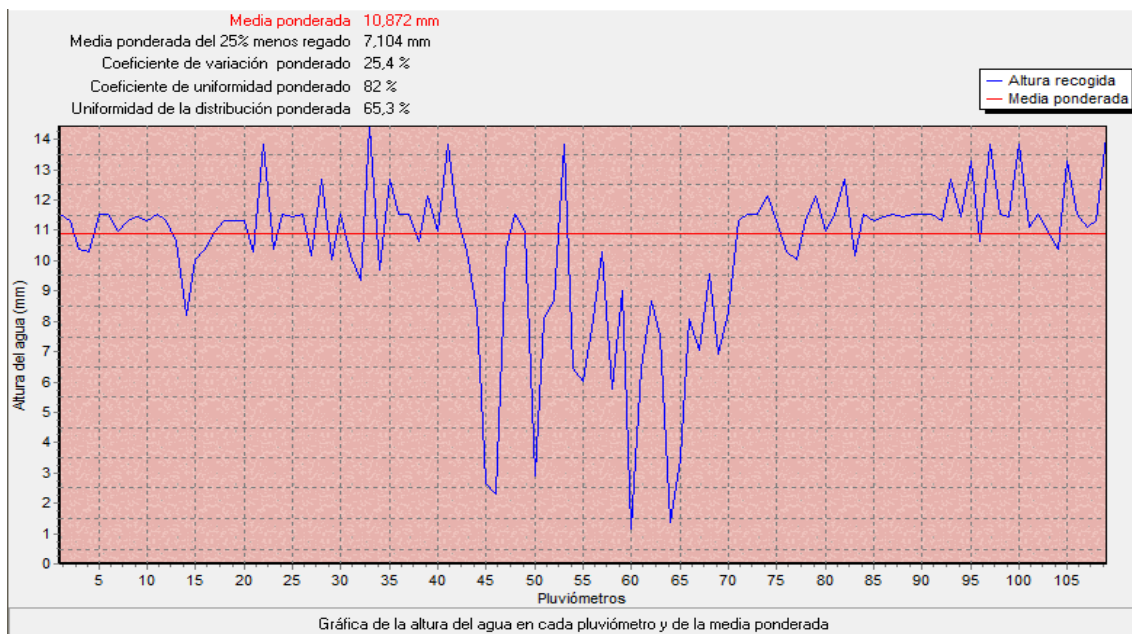
36. ONU. 2006. Programa Mundial de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. Sitio Web: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001432/143272s.pdf>. [Consultado mayo-2018]
37. Pacheco, J. 2008. Propuesta de metodología para el manejo del riego en las máquinas de pivote central. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. 6p.
38. Pacheco, J.; Alonso, N.; Pujol, P.; Camejo, E. Riego y Drenaje. 1995. Ed. Pueblo y Educación, La Habana. Cuba. 414pp.
39. Pacheco, J.; Gálvez, G.; Pacheco. 2003. Evaluación pluviométrica con ponderación de las áreas en máquinas de riego de pivote central. Memorias en CD de la II Conferencia Internacional sobre Desarrollo Agrop. Y Sostenibilidad. Simposio de Ing. Agrícola. Univ. Central de las Villas. Santa Clara. Cuba.
40. Pacheco, J.; Pacheco, Y. 2004. Aplicación de software para calcular coeficientes de uniformidad ponderados por superficie en máquinas de riego de pivote central, Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 1(2).
41. Pereira, A. 2017. Potato potential yield base don elements and cultivar characteristics. Bragantia Campinas, vol. 67, no.2, 327-334 pp.
42. Pérez, A. 2009. Manejo del riego en la papa (*Solanum tuberosum* L.) con máquina de pivote central, en la UBPC-2 perteneciente a la Empresa de Cultivos Varios "Valle del Yabú". Tesis de Diploma. Carrera de Agronomía, UCLV. Villa Clara, Cuba. 53pp.
43. Pérez, J. R. 1998. Un manual de práctica laboral de riego y drenaje para estudiantes de 4to año de Agronomía. Tesis presentada En opción al título de Msc en Riego y Drenaje. ISCAH. La Habana, Cuba. 259 pp.
44. Ramírez, J. 2011. Riego de precisión y su aplicación en una máquina de riego de avance frontal. Tesis profesional para obtener el título de ingeniero mecánico agrícola. Universidad Autónoma de Chapingo. 61 pp.
45. Rodríguez, E.; Troncoso, J. 2005. Evaluación técnica y económica de un sistema de riego por pivote central. Revista Agro Sur, Vol. 33, No.2 Valdivia dic. 2005, ISSN 0304-8802 Versión impresa. Sitio Web <http://mingaonline.uach.cl>. [Consultado el 22/4/2018].
46. Rodríguez, L. R. 2002. Efecto del riego en la producción. 12p.

47. Roque, R.; Alemán, G.; Roviroso M. 2006. Uso de las máquinas de pivote central en el riego con aguas residuales Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 15, núm. 1. Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez La Habana, Cuba Sitio Web: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215110>. [Consultado: enero-2018].
48. Santos, G.; Mutadas, R. 1999. Pivote y aguas residuales. La Revista del Riego, no. 17, 7 p.
49. Santos, O. R. 2018. Conferencia del cambio climático en Cuba como crisis y oportunidad. DMA. CITMA.
50. Shiklomanov, I. A. 1998. World Water Resources. A New Appraisal and Assessment for the 21 ST. Century, UNESCO .37 pp.
51. SIAR. 2003. Junta de Comunidades del Consejo de Agricultura de Castilla-La Mancha. Hoja Informativa. Marzo 2003. España
52. Solano, J.; Medina, L.; Fernández, M. 1999. Efecto de niveles y frecuencias de agua aplicada mediante aspersion, sobre la distribución de calibres y rendimiento comercial de papa en la XI región. En: XI Jornadas de Extensión Agrícola. (21-22 de octubre, 1999, Temuco, Chile). Avances en Tecnologías de Riego y Mecanización. Universidad Católica de Temuco. 35 p
53. Tarjuelo, J. M. 2005. El riego por aspersion y su tecnología. Ed. Mundi-Prensa. Tercera edición, Madrid, España. 569 pp.
54. Valley. A. 1995. Catálogo de productos, Valmont Corporation. 25 pp.

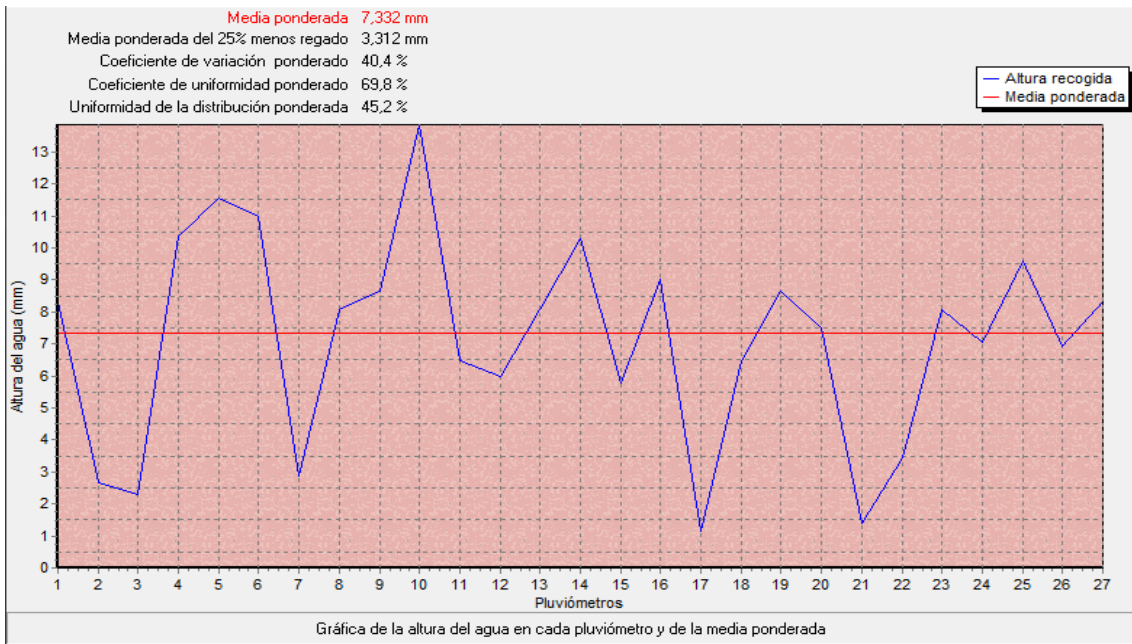
Anexos



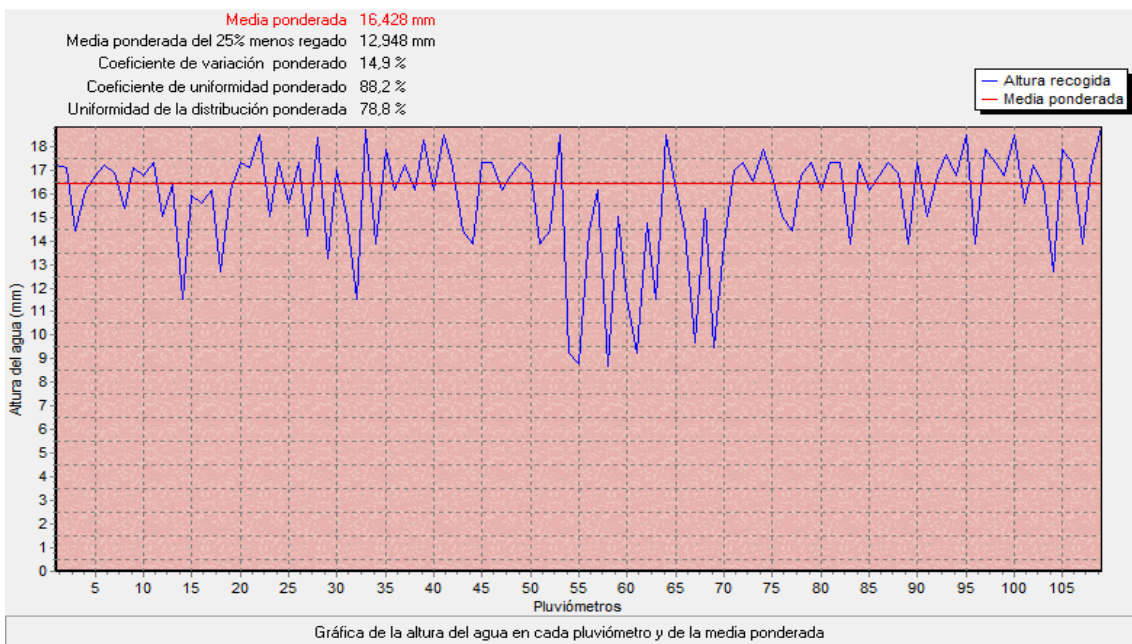
Anexo 1. Ventana principal del software Pluviopivot



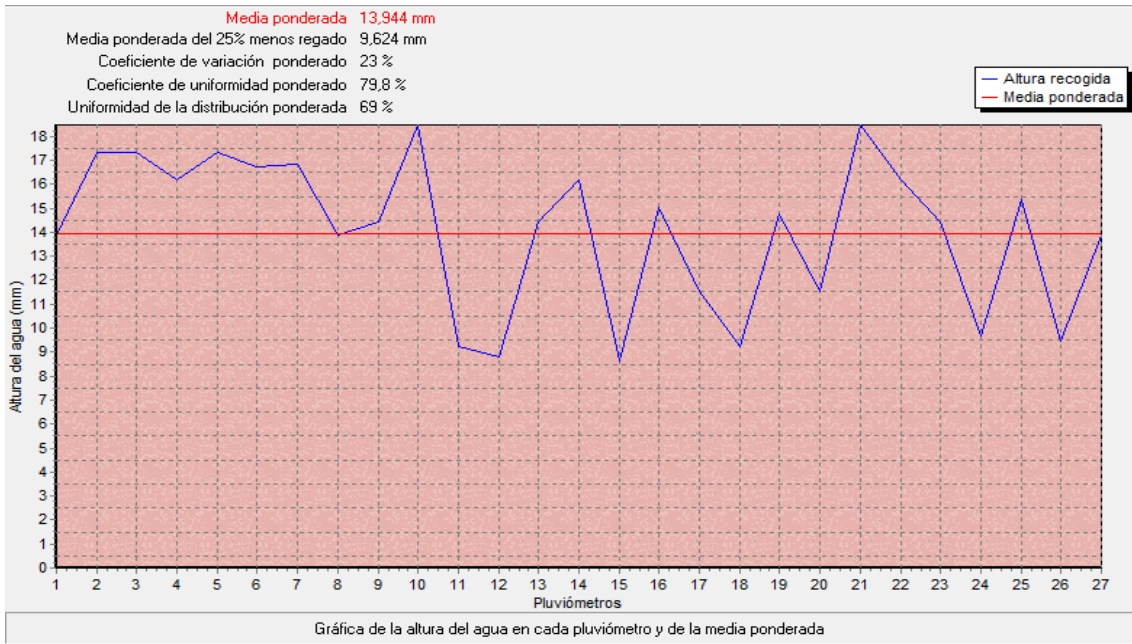
Anexo 2. Evaluación de la maquina en el primer riego antes de la siembra



Anexo 3. Evaluación del tramo 3 de la máquina en el primer riego antes de la siembra



Anexo 4. Evaluación de la maquina en el 9no riego después de la siembra



Anexo 5. Evaluación del tramo 3 de la máquina en el 9no riego después de la siembra