



Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Departamento de Ingeniería Agrícola

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE
MÁSTER EN INGENIERÍA AGRÍCOLA**

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”.

Autor: Ing. Daniel Martínez Alvarez

Tutor: Dr. C. Elvis López Bravo

Santa Clara

2015

Pensamiento

“Una idea puede transformarse en polvo o en magia dependiendo del talento con que la frotes”.

William Bernbach

Dedicatoria

DEDICATORIA

✚ A mis padres, para recompensar sus esfuerzos
✚ A mi esposa, por su dedicación
✚ A toda mi familia

Agradecimientos

AGRADECIMIENTOS

- **Dr. C. Elvis López Bravo, por la pertinente tutoría**
- **Dr. C. Miguel Herrera Suárez**
- **MSc. Carlos Pereira**
- **Ing. Roger Díaz Palmero**
- **Al colectivo de trabajadores de la UBPC-3 “Jesús Menéndez” y de la UEB Integral de Servicios Técnicos**

 **A mi esposa, que siempre está dispuesta a ayudarme**

 **A mis padres, por brindarme su apoyo**

 **A mis suegros, por su preocupación**

 **Al Adrie y Ory, que aunque lejos siempre cerca**

 **A mis compañeros de trabajo**

 **A mis compañeros de estudio en esta etapa**

 **A mis profesores**

Resumen

RESUMEN

La presente investigación fue realizada en la UBPC-3 “Jesús Menéndez” de la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú” con el objetivo de proponer un plan de medidas para disminuir el consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctricas.

Para ello se evalúa la máquina de riego a partir de las metodologías propuestas por Tarjuelo, además de la Norma Cubana de evaluación de estas máquinas. Asimismo, la investigación determina el consumo energético y los factores que provocan su incremento en la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctricas en la entidad objeto de estudio.

Se obtuvieron como principales resultados un elevado consumo energético de la actividad de riego con un valor que asciende a los 9 039,05 kWh. Los factores que inciden en tal resultado son el inadecuado manejo de la actividad de riego y el bajo coeficiente de uniformidad.

A partir de estos resultados se elabora un plan de medidas que pretende facilitar la disminución del consumo energético. Por ello se recomienda implementar este plan de medidas así como evaluar su impacto en la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctricas en próximas campañas.

Tabla de Contenido

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.....	6
I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	13
1.1.El desarrollo del riego agrícola	13
1.2.Los sistemas de riego basados en máquinas de pivote central.....	16
1.3.Factores que influyen en la demanda energética de las máquinas de pivote central	22
1.3.1. Evaluación de pivotes centrales	28
1.4.Empleo de la energía eléctrica en la actividad de riego	30
1.4.1. Principales recomendaciones para la disminución del consumo energético de la actividad de riego	34
Conclusiones parciales:	36
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
2.1.Caracterización de la Máquina de Riego	37
2.2.Metodología para la medición de la demanda energética del sistema	37
2.3.Metodología para la determinación de los factores que incrementan el consumo de energía	41
2.4.Metodología para la realización de la pluviometría	41
2.5 Metodología para el análisis económico	42
2.6 Metodología para el procesamiento estadístico	43
2.7.Metodología para la elaboración del plan de medidas	44
Conclusiones parciales:	45
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
3.1.Caracterización de la Máquina de Riego de la UBPC-3 “Jesús Menéndez”	46
3.2.Medición de la demanda energética del sistema	49
3.3.Factores que inciden en el consumo energético.....	55
3.4.Análisis económico.....	61
3.5.Plan de medidas para la disminución del consumo energético de las máquinas de pivote central eléctrica de la UBPC-3 “Jesús Menéndez”	66
3.5.1. Organización de la información obtenida en el diagnóstico del consumo	66
3.5.2. Establecimiento de los objetivos dirigidos a minimizar la demanda energética	67
3.5.3. Identificación de los colectivos agentes a los que se dirigen	67
3.5.4. Identificación de los posibles interlocutores	68
3.5.5. Líneas o propuestas de actuación	69
3.5.6. Evaluación del impacto del plan de medidas	75

Tesis en opción al título académico de máster en Ingeniería Agrícola

Conclusiones parciales:	75
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA.....	79

Introducción

INTRODUCCIÓN

Las máquinas de riego han posibilitado una mayor eficiencia de esta actividad en áreas donde otros métodos de riego no son adecuados. Se pueden aplicar riegos más frecuente y cubrir mejor los requerimientos de agua de los cultivos y aumentar al máximo la producción. Durante las últimas tres décadas, las máquinas de pivote central se han perfeccionado mucho. Son mecánicamente muy fiables y simples de operar, aunque, como cualquier maquinaria, el mantenimiento rutinario y sistemático es imprescindible (Montero *et al.*, 2005).

Estos sistemas de riego son confiables y eficientes y permiten la regulación del agua a aplicar, entregándola con alta uniformidad. Esto posibilita un notable ahorro de agua y energía al compararse con otras técnicas como la aspersión tradicional y los pivotes de accionamiento hidráulico (Camacho *et al.*, 2010). Gracias a los pivotes centrales, es relativamente fácil manejar los niveles de riego en forma adecuada (González, 2006).

Según Duarte *et al.* (2006), en la actualidad más de 10 millones de hectáreas a nivel mundial se riegan con la tecnología de pivote central. En Cuba, específicamente, esta tecnología se introduce en 1977 procedente de la antigua Unión Soviética y luego se generalizó a todo el país. En la década de 1990 se introdujeron otros modelos de máquinas dotados con motores eléctricos, iniciando un proyecto conocido como “Electrificación”.

Esta tecnología resultaba más eficiente pues su velocidad superaba tres veces a la tecnología de accionamiento hidráulico. Era más ligera, ocasionaba menos pérdida de agua y presentaba menor frecuencia de rotura (Duarte *et al.*, 2006).

Los mismos autores apuntan que el desarrollo de dicho proyecto contribuyó al incremento en Cuba de la eficiencia de operación de estos sistemas de riego en la primera década del siglo XXI. Tanto es así, que a la culminación del año 2006 el área regada con esta tecnología ascendía a 20 250,52 ha.

Pese a esto, dichos sistemas de riego son altos consumidores de energía eléctrica. Muestra de ello es que el riego constituye el segundo gran consumidor de portadores energéticos dentro del Ministerio de la Agricultura cubano, con un porcentaje que se encuentra entre el 18 al 20%; solo superado por el transporte que acapara un 25% (Baños, 2011). La anterior afirmación unida al hecho de que el sistema de riego de pivote central eléctrico es más eficiente dentro de los sistemas de riego por aspersión indican que Cuba precisa extender la actividad de riego al menor costo posible. Sobre todo, en circunstancias en que la crisis económica mundial y la fluctuación constante del precio del petróleo ha afectado la economía de casi todos los países (Baños, 2011).

No obstante, un incremento del uso del riego a los cultivos requiere de una mayor explotación de los recursos hídricos y de los recursos energéticos para lograr así mayores producciones con rendimientos altos y estables. (Amador, 1987).

Aunque, según Requena y Martínez (2010) en aquellos países en los que el costo de la energía eléctrica varía según el momento del día en que se utilice, puede ser necesario sobredimensionar el sistema para aprovechar las horas en que esta energía tiene un menor costo. Así, resulta pertinente examinar el consumo energético de los sistemas de riego de

pivote central, no obstante de constituir un regadío más eficiente que los de traslación hidráulica, pues estos utilizan estaciones de bombeo con motores de combustión interna.

Este criterio unido al hecho de que en la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”, la gran mayoría de los cultivos se benefician con el sistema de riego de pivote central eléctrico sustenta la decisión de estudiar el consumo energético de estos sistemas. Sobre todo, porque en la actualidad en la empresa existen un total de 12 máquinas de pivote central eléctrico en explotación que cubren una extensión de 259 ha, con grandes perspectivas de aumento.

Por ello, el consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central en dicha organización resulta de vital importancia porque la mejora de la eficiencia energética de los regadíos dependientes de aportes externos de energía conlleva inversiones para disminuir los costes de explotación de estos sistemas. Pero sobre todo, tienen un efecto positivo sobre el medio ambiente en cuanto disminuyen la necesidad de producción energética (Alfaro, 2005).

Y como en los lineamientos económicos, políticos y sociales del Partido y la Revolución se hace especial énfasis en obtener producciones estables y sostenibles. El logro de este objetivo requiere, necesariamente, cambios y perfeccionamientos en la tecnología actual de producción, la disminución de los costos de producción, el consumo energético y la implementación de la investigación científica con la finalidad de sugerir alternativas que respondan a estas cuestiones.

Ya que la energía es uno de los principales motores de desarrollo y transformación económica al considerarse un bien básico para el conjunto de la economía. De ahí que conocer los factores que ocasionan un mayor consumo energético en el regadío se hace

necesario para establecer estrategias de ahorro energético en el riego. (Camacho *et al.*, 2010).

En la bibliografía consultada se destaca que la disminución del consumo energético en un regadío debe considerar aspectos fundamentales tales como: la disminución del consumo de agua, la correcta explotación de los sistemas de riego y la correcta adecuación, tanto de la estación de bombeo como el propio equipo de riego.

Las medidas para mejorar la eficiencia en el uso del agua son unas de carácter administrativo y de gestión, y otras de carácter más técnico. Todas ellas se pueden llevar a cabo en beneficio, finalmente, del ahorro y de la eficiencia energética si se proyectan e implementan de manera adecuada. Todos los partícipes en la creación y explotación de un regadío tienen su parte de responsabilidad en su eficiencia energética final, desde el planificador, los proyectistas de la red general y de la instalación en parcela, hasta el regante pasando por gestores y operarios de las comunidades de regantes. También tiene un papel fundamental el Servicio de Asesoramiento al Regante (SAR) que suele ser el que aglutina toda la información y participa de alguna manera en todos los niveles (Alfaro, 2005).

Pero esta temática en el sistema de producción agrícola cubano se le presta poca atención. Provocado principalmente a que las bajas tarifas según la legislación vigente para el cobro de la energía eléctrica resulta desproporcionado al peso que tiene este costo dentro de los costos de operación anuales. Trayendo como consecuencia a que en Cuba este indicador sea poco valorado por los productores dentro de los costos variables (Duarte *et al.*, 2006).

La Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú” no está exenta de este fenómeno. No obstante, en la actualidad existe la voluntad de revertir tal situación, pues esta entidad solicita al investigador un plan de medidas para disminuir el consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctrico.

Para ello, la investigación se centrará fundamentalmente, en la Unidad Básica de Producción Cooperativa # 3 “Jesús Menéndez” (UBPC-3) por constituir la única unidad que no posee un registro fiable del consumo energético, al no tener instalada en la máquina de riego instrumentos de medición del consumo eléctrico. Este plan de medidas puede ser extrapolable al resto de la empresa porque proporcionará una alternativa para la disminución del consumo energético de toda la entidad, teniendo en cuenta que en la UBPC-3 existe una gran demanda de agua y energía, con amplias perspectivas de incrementarse

A partir de esta problemática y de lo importante que resulta un adecuado manejo de estos recursos se plantea como:

Objeto de estudio: El consumo energético de la actividad de riego con las máquinas de pivote central eléctrico.

Problema de investigación: ¿Cómo disminuir el consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctrico en la UBPC-3 “Jesús Menéndez” de la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”?

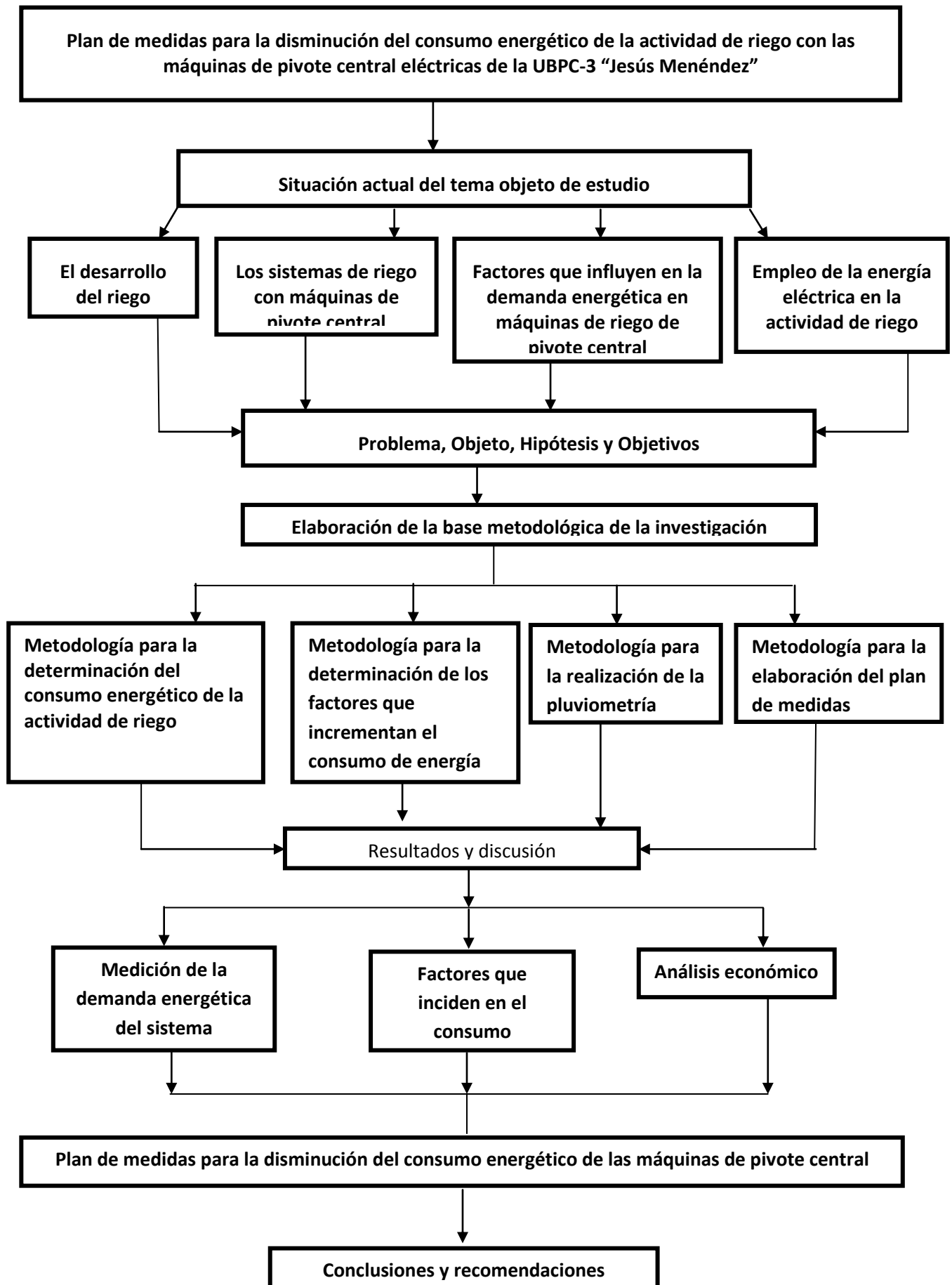
Hipótesis de Investigación: el diagnóstico del consumo energético de la actividad de riego con las máquinas de pivote central eléctrico y la determinación de los factores que incrementan el consumo de energía permitirá elaborar un plan de medidas para la disminución del consumo energético de la actividad de riego con las máquinas de pivote central eléctrica de la UBPC-3 “Jesús Menéndez” en la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”.

Objetivo General: Proponer un plan de medidas para disminuir el consumo energético de la actividad de riego con las máquinas de pivote central eléctricos en la UBPC-3 “Jesús Menéndez” de la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”.

Objetivos Específicos:

- Determinar el consumo energético de la actividad de riego con las máquinas de pivote central eléctrico en la UBPC-3 “Jesús Menéndez” de la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”.
- Determinar los factores que incrementan el consumo de energía en la actividad de riego de las máquinas de pivote central eléctrico en la UBPC-3 “Jesús Menéndez” de la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”.
- Elaborar un plan de medidas para disminuir el consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctrico en la UBPC-3 “Jesús Menéndez” de la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”.

A continuación se muestra el esquema lógico-estructural de la investigación.



Capítulo I: Revisión Bibliográfica

I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. El desarrollo del riego agrícola

La historia del empleo y desarrollo del riego se remonta a las civilizaciones del Oriente Antiguo (China, India, Egipto y Mesopotamia) asentadas en los valles fértiles próximos a los ríos Yang Tse, Hang Ho, Indo, Nilo, Éufrates, Amu- Daria y Sir- Daria. Desde esta fecha datan muchas de las obras de irrigación tales como el canal de Naraun en el valle del Tigris y el Éufrates y el canal Imperial en el valle del río Amarillo, por solo citar algunos ejemplos (Aidárov *et al.*, 1985).

De manera que el riego se propaga aceleradamente desde dichas civilizaciones hacia Europa y África del Norte, luego de que los primeros conquistadores de la región africana notaran su éxito en regiones como Argelia y Túnez. No obstante, los conquistadores españoles descubrieron perfectos sistemas de riego en las culturas mayas, incas y aztecas a su arribo al Nuevo Mundo en los siglos XV y XVI.

Siguiendo su evolución y desarrollo cronológico, ya en el año 1800 la superficie total de riego en el mundo abarcaba aproximadamente los ocho millones de hectáreas. Mientras que en el siglo XIX, el riego alcanza un ulterior desarrollo en países como India, Egipto, Pakistán, Rusia, Estados Unidos y Japón. (Aidárov *et al.*, 1985).

Específicamente, en América Latina y el Caribe la superficie potencial de riego en la región se estima en 77 millones de hectáreas. El 66 % de dicha superficie potencial se localiza en cuatro países, fundamentalmente: Argentina, Brasil, México y Perú, según declaraciones de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en el año 2013.

El desarrollo del riego se ha ido incrementando paulatinamente durante la segunda mitad del siglo XX en la mayor parte de los países de la región. Particularmente el período de 1961-1997 constituye el de mayor diversificación de esta actividad agrotécnica por el continente americano (FAO, 2013).

En el entorno cubano, la actividad de riego ha ido desarrollándose paulatinamente. Anterior al triunfo de la Revolución era prácticamente inexistente en el país, dedicándose en mayor cuantía al riego de la caña de azúcar. Después de 1959, el riego y drenaje tuvo un acelerado auge a partir de numerosas inversiones millonarias del Estado cubano, fomentando nuevas fuentes de abasto, sistemas de riego y drenaje, formación de especialistas y técnicos especializados, así como las bases necesarias para la creación de una industria nacional de equipos de regadío.

Para 1991, Cuba, alcanzó la mayor cifra de áreas bajo riego de la historia. No obstante, en esta fecha, provocado por la férrea crisis económica motivada por el derrumbe del campo socialista y el recrudecimiento del bloqueo económico norteamericano; se producen serias afectaciones al desarrollo hidráulico cubano y por consecuencia a la actividad de riego (González y Méndez, 2003).

Estas contingencias económicas provocaron una inestabilidad en el suministro de combustible y un deterioro turbulento de los sistemas de riego al detenerse el proceso

inversionista en las obras hidráulicas y, por ende, en los regadíos y existir una escasez en los recursos financieros para el mantenimiento de los sistemas ya construidos. Estas razones provocaron que en el año 2000 se hubiesen perdido en valor de uso para regadíos unas 160 577 ha, disminuyendo el área bajo regadío del país un 27% (González y Méndez, 2003).

Ya en el año 2002, se aprecian signos de recuperación visibles en el incremento de nuevas áreas bajo riego (arroz, huertos y organopónicos). Sin embargo, el período especial, el deterioro de los sistemas de riego y la inestabilidad en el suministro de diesel incidieron en la difícil situación del riego y drenaje en la actualidad lo que unido al decrecimiento de la fuerza técnica no ha permitido explotar eficientemente los sistemas de riego y drenaje. Independientemente de esta situación, el país realiza inusitados esfuerzos para mantener los niveles de áreas bajo riego, lograr un mejor uso del agua y la energía e incrementar las producciones agrícolas. De modo que se trabaja en un Programa de Modernización y Electrificación de los sistemas de riego (González y Méndez, 2003).

Por tanto, el perfeccionamiento de los sistemas de riego y drenajes se impone para mejorar las condiciones de la naturaleza con la finalidad de garantizar una eficiencia en la producción de alimentos. De ahí la necesidad de asimilar nuevas tecnologías para optimizar el diseño y construcción de los equipos de riego, mejorar la eficiencia de utilización de agua y energía, permitir la adecuada mecanización y automatización de la aplicación del agua y demás labores agrícolas y utilizar racionalmente los recursos hídricos de manera que garanticen su propia existencia y la del medio ambiente (Tarjuelo, 2005).

Como variante apropiada para cumplir estos fines se presentan los sistemas de riego basados en máquinas de pivote central eléctricas. Esta tecnología posibilita un manejo

adecuado de las necesidades hídricas de los cultivos y, por ende, un aprovechamiento óptimo de recursos como el agua y la energía.

1.2. Los sistemas de riego basados en máquinas de pivote central

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 (González y Méndez, 2003).

Estas condicionantes incidieron en la implementación, por parte del MINAG, de un programa de electrificación para sustituir los motores de diesel 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 por aspersión, riego subterráneo y riego por goteo. No obstante, esta investigación se centrará en el segundo método, específicamente en el riego con máquinas de pivote central para el diseño de la estrategia de disminución del consumo energético en dicha actividad agrotécnica.

La mecanización del riego por aspersión se inicia con el aspersor y continúa con el transporte de los elementos de riego, desembocando en las máquinas que riegan mientras se desplazan. Estas pueden agruparse en dos grandes familias: una con desplazamiento de un aspersor de gran tamaño (cañones viajeros y enrolladores) y, otra con desplazamiento de ramales de riego como es el caso de los “pivote o pivotes” y los laterales de avance frontal.

Las máquinas de pivote central están muy ligadas a la parcela y pueden trabajar un gran número de horas y satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos. El pivote central toma el agua del centro del círculo, punto que permanece fijo, y la distribuye a lo largo de la tubería móvil a medida que avanza, como las agujas de un reloj (en uno u otro sentido) (Tarjuelo, 2005).

Según Hamil (2000), un pivote central consiste básicamente en una tubería lateral con aspersores (Figura 1.1). La tubería central es soportada por tensores de acero y torres (Figura 1.2) espaciadas entre 30 y 60 m. Cada torre cuenta con un motor y se asienta sobre dos o cuatro grandes ruedas de goma.

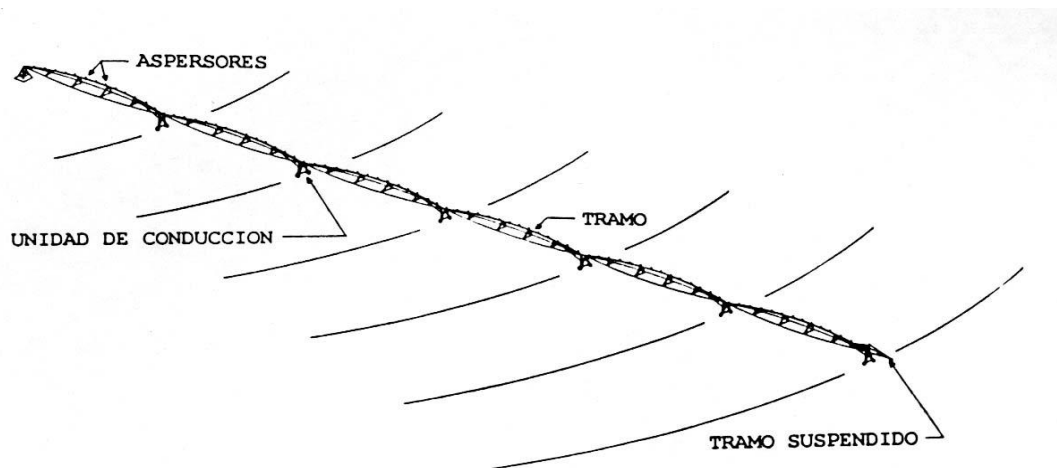


Figura 1.1 Esquema general de un pivote

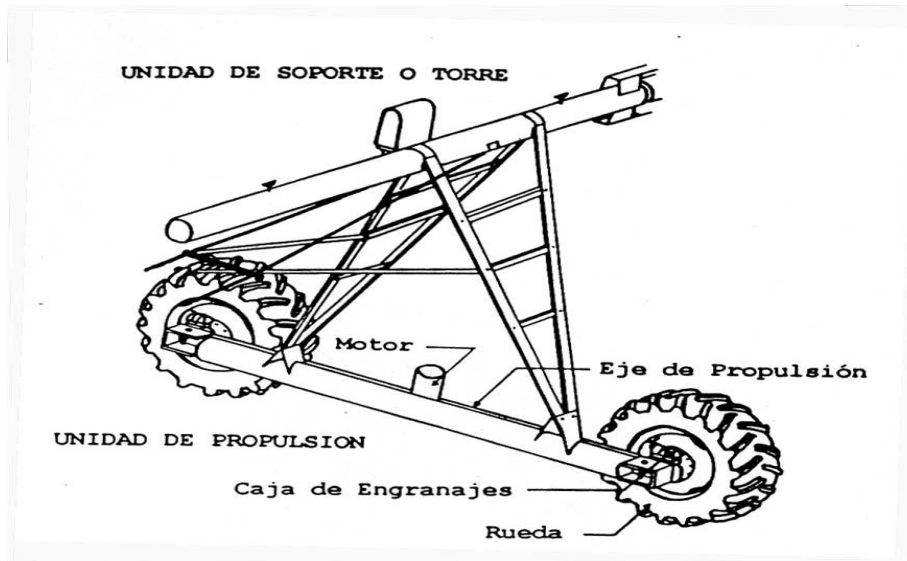


Figura 1.2 Esquema general de una torre

El conjunto de la tubería, tensores y aspersores entre dos torres se llama tramo (Figura 1.3). En cada tramo hay acoples flexibles que conectan las tuberías de dos tramos adyacentes. El largo máximo de los tramos es en función del tamaño y el espesor de la tubería y de la topografía del terreno. El largo de los tramos ni tiene por qué ser uniforme y generalmente varía para adecuarse a las dimensiones del campo o para ajustar la altura de los aspersores en terrenos ondulados.

El voladizo es una tubería de menor diámetro con aspersores que es suspendida por cables al final de la última torre para aumentar el área regada (Figura 1.4). Cañones y sistemas de esquinas pueden ser colocados al final del equipo para aumentar el radio mojado o regar en las esquinas. La longitud más común de los pivotes es de 400 m y su vida útil abarca un período entre los 15 y los 20 años

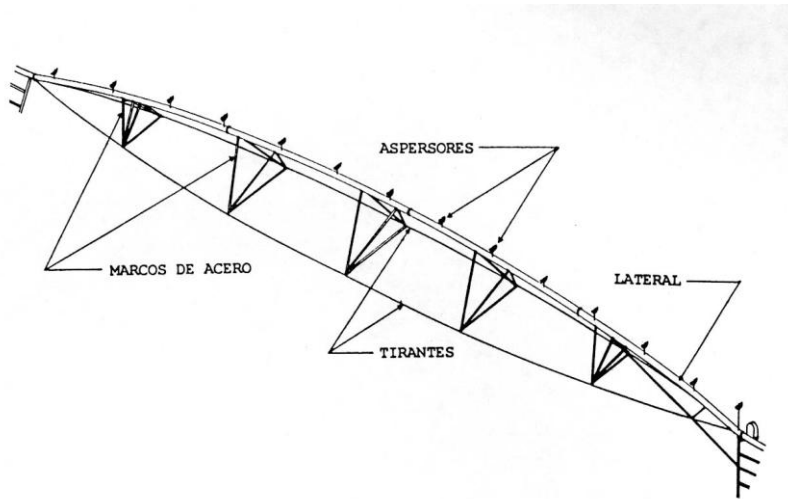


Figura 1.3. Tramo de un pivote central

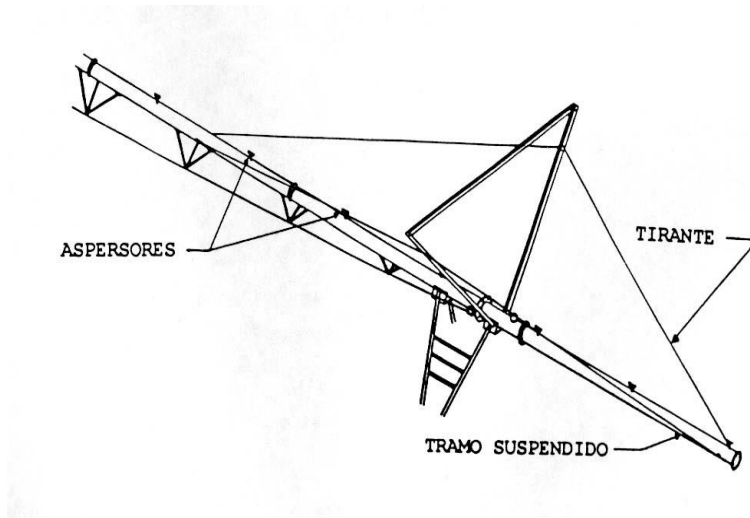


Figura 1.4. Voladizo o tramo suspendido

La gran mayoría de los pivotes son eléctricos y sus motores de alrededor de un caballo de fuerza (HP) van en cada torre para permitir su movimiento en forma autónoma. Los cables eléctricos se colocan longitudinalmente a la tubería lateral, contando con cajas de control en cada torre. El panel de control usualmente se localiza en la estructura base o centro del pivote; cuya función radica en ingresar agua y potencia al equipo y sostener el tablero de control (Figura 1.5).

Las estructuras base son generalmente permanentes en sistemas grandes, pero pueden ser trasladables en sistemas más pequeños. La potencia eléctrica es abastecida a los motores de las torres a través de un anillo colector ubicado en la estructura base. Además dicha estructura sostiene el tramo vertical de tubería y la junta que permite el giro del pivote.

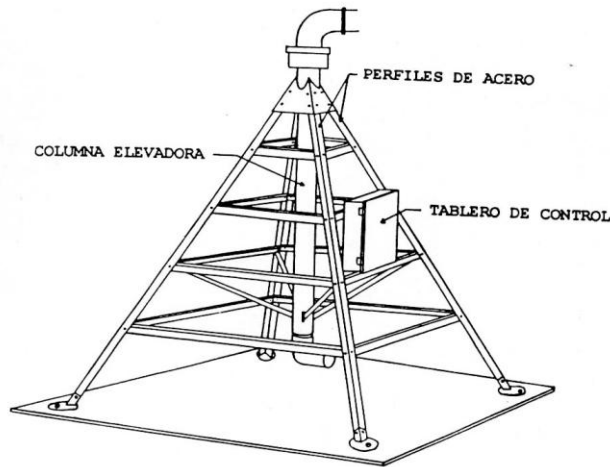


Figura 1.5: Estructura base o centro de pivote

Sin incluir la estructura base pueden existir entre una y 15 torres en cada sistema. Las torres son generalmente identificadas por números comenzando desde la más cercana a la base del pivote. Dichas torres siguen la misma huella en el campo lo que puede provocar problemas de tracción y escurrimiento por la compactación del suelo.

La mantención de la alineación de los pivotes es fundamental para el correcto funcionamiento del equipo. Para asegurar dicha alineación se cuenta con sensores localizados sobre las tuberías en cada torre que monitorean el avance o la parada de la máquina para que se mantenga alineada. De manera general, en cada torre exceptuando la última torre existe un microinterruptor de seguridad adicional que detiene el sistema cuando hay problemas de alineamiento.

En la gran mayoría de las máquinas, la torre más alejada del punto de pivote controla el movimiento. El tiempo de rotación mínimo es aproximadamente de 14 a 20 horas (2 a 3 m/min en la torre final). En cada torre se pueden instalar cajas reductoras para aumentar la velocidad y reducir, por tanto, el tiempo de rotación a menos de 12 horas (4,3 m/min en la torre final) sobre todo en suelos livianos, arenosos o arcillosos agrietados.

Un panel de control regula la velocidad relativa promedio de la torre más alejada que actúa como guía para el sistema completo. Un 100% de un minuto de tiempo de rotación implica que la máquina avance a máxima velocidad. Mientras que al 50%, la última torre avanza con la sucesiva alineación del resto de la máquina en un ciclo de tiempo de on-off de un minuto. O sea, representa un avance de 30 s/min. Por supuesto, en una proporcionalidad inversa la rotación más lenta aplica mayor cantidad de agua.

Los dos tipos de aspersores usados en pivotes centrales lo constituyen los de impacto y spray. Los de impacto son generalmente de baja presión y bajo ángulo y se montan directamente sobre la tubería lateral del pivote. Mientras los de spray pueden ser montados sobre la tubería lateral pero es más frecuente que se ubiquen en el extremo de una tubería bajante flexible conectada en forma de U a la parte superior de la tubería lateral; manteniendo los emisores sobre la canopia del cultivo. La altura de los bajantes flexibles puede ser modificada según el crecimiento del cultivo.

Los aspersores de spray de baja son los más comúnmente utilizados para reducir las pérdidas por viento y evaporación. Por su parte, los de impacto son más utilizados en algunas zonas pese a que el uso de este tipo de aspersores de alta presión es raro. Así, el uso de reguladores o controles de flujo es común en sistemas de baja presión.

La localización, espaciamiento, tamaño y descarga de cada aspersor es especificado en la carta de aspersores entregada por el fabricante. Un pivote estándar de 400 m tiene de 100 a 110 aspersores. Las máquinas modernas poseen un espaciamiento uniforme de aspersores que varía entre 2,3 a 3 m dependiendo del fabricante. Cerca del centro, donde el avance es lento, es posible que no todas las salidas tengan aspersor instalado con la finalidad de reducir la aplicación de agua. Luego de la primera torre todas las salidas tienen su aspersor.

Dichas máquinas se diseñan generalmente para operar a 250 kPa o a menos. Estas presiones son insuficientes en caso de que dichas máquinas cuenten con cañones finales por lo que se colocan bombas eléctricas en la última torre. La descarga de los cañones finales, en caso de existencia, debe ser controlada para no mojar caminos, flujos de agua o redes de drenaje; sobre todo cuando se aplican químicos (Hamil, 2000).

De manera general, con estas máquinas se alcanzan altos valores de eficiencia en sus funciones de distribuir el agua corriente para incorporarla como humedad en el suelo. No obstante, se hace necesario tener un seguimiento en los parámetros e indicadores que influyen en la calidad y el funcionamiento de los sistemas de riego.

1.3. Factores que influyen en la demanda energética de las máquinas de pivote central

Por definición en las máquinas de pivote central la demanda energética viene dada por sus componentes eléctricos. Pero en el manejo y explotación de estos equipos existen factores que van a influir de manera determinante en el consumo de energía. Si se revisa la bibliografía en este sentido, no se encuentra directamente una respuesta.

No obstante, si se analiza las evaluaciones a las cuales son sometidas estas máquinas se ve que están dirigidas a la correcta aplicación del agua con la finalidad de hacer un uso más eficiente de este recurso. Deteniéndose en este aspecto, es posible afirmar que el consumo del agua y la energía no se pueden desligar. Lo que coincide con Duarte *et al.* (2006), quien expresa que: los problemas de escasez de energía y agua son preocupantes ya no sólo para la producción agrícola, sino hasta para el consumo humano.

Este hecho ha motivado que se generen nuevas tecnologías de riego con el objetivo de aumentar la eficiencia en el uso del agua y la disminución del consumo energético. Pero este desarrollo debe estar sustentado sobre una correcta explotación de estas técnicas que permitan aprovechar al máximo su potencialidad y contribuyan a la disminución del consumo de estos recursos (Duarte *et al.*, 2006).

Por tanto la correcta utilización del agua por el regante para conseguir su uso eficiente requiere la aplicación de las técnicas de programación de riegos (PR), que indiquen el momento y la cuantía de cada riego. Además debe traer aparejado un adecuado manejo de las redes de distribución, del proceso de aplicación de agua y del consumo energético de la actividad (Tarjuelo, 2005). En esta misma línea Duarte *et al.* (2006) asevera que manejar la PR de acuerdo con las diferentes etapas de desarrollo de los cultivos trae aparejado un sustancial ahorro de agua y energía si se compara con el manejo de riego donde se fijen las normas de riego.

El término de PR es generalmente usado para describir el procedimiento mediante el cual se determina la frecuencia y dosis de agua a aplicar en cada riego. La optimización de la PR puede hacerse con criterios agronómicos muy diferentes, dependiendo, en primea instancia, del nivel al que se analiza el problema. Atendiendo a los objetivos perseguidos con la PR,

ésta puede llevarse a cabo: con fines puramente técnicos; económicos o con fines ambientales (Tarjuelo, 2005).

El criterio técnico puro tiene por objetivo lograr el máximo rendimiento en la superficie regada. La PR con fines económicos consiste en maximizar el uso del agua, siendo de interés donde hay un suministro limitado de agua y su coste de aplicación es elevado. Tradicionalmente, los métodos de PR suelen agruparse en cuatro bloques. Basados en el estado hídrico del suelo, en el estado hídrico del cultivo, los de balance de agua en el suelo y por último existen los métodos mixtos, que combinan varias técnicas de PR (Tarjuelo, 2005).

Y siendo una combinación del primer método con el tercer, el que se emplea en las condiciones de la empresa en la que se aplica esta investigación. Esta combinación se basa en el conocimiento del estado hídrico del suelo, apoyándose en el conocimiento del potencial hídrico, con el empleo de tensiómetros, y en el contenido de agua mediante muestreos gravimétricos, para con eso datos conjuntamente con datos brindados por la estación agrometeorológica llevar un balance de la humedad en el suelo. De manera que urge la necesidad de tener un reparto uniforme del agua en el riego, para que en la sección del campo seleccionada para el muestreo no vaya a farsear los resultados. Siendo necesario entonces la evaluación del estado técnico del sistema de riego.

Las técnicas de evaluación y mejora de los sistemas de riego permiten conocer los parámetros implicados en la aplicación del agua en base a ensayos de campo realizados bajo las condiciones normales de trabajo y determinar los cambios precisos para mejorar el proceso de riego. Con estos cambios se puede conseguir ahorrar agua, energía, mano de obra, suelo, etc., así como una mejora de los rendimientos de los cultivos. La evaluación

realizada a un conjunto de sistemas de riego, puede servir además para establecer los criterios de elección del sistema de riego más adecuado, a las condiciones de cada zona regable (Tarjuelo, 2005).

Debido al elevado número de variables que intervienen (caudal, presión, duración del riego, etc.) y al hecho de que todas están directa o indirectamente relacionadas, el problema de la correcta utilización del agua no tiene siempre una solución evidente ni inmediata. A veces, las mejoras a introducir pueden ser sencillas, así el funcionamiento de un riego por aspersión puede mejorarse variando la presión de trabajo, tamaño y número de boquillas, altura de los emisores, duración de la postura de riego o cambiando el material desgastado (Tarjuelo, 2005).

La terminología utilizada para describir el comportamiento del riego a nivel de parcela incluye normalmente los términos de eficiencia de aplicación y uniformidad de distribución. Lamentablemente no existe ningún parámetro que por sí solo sea suficiente para describir el comportamiento del riego, por lo que siempre se valoran varios parámetros a la vez (Martínez y Tarjuelo, 2006).

Los términos de uniformidad y eficiencia que intervienen en la evaluación, no tienen una terminología ni una concepción única en estos momentos. Para evitar las posibles confusiones con otras terminologías, se adopta la empleada por Merrian y Keller (1978) y Merrian *et al.* (1980), por ser unas de las utilizadas y aceptadas de forma generalizada por Faci y Castel (1982) y empleadas por Tarjuelo (2005).

De manera general, los principales parámetros empleados en todos los procedimientos de evaluación en el campo según Tarjuelo (2005) se definen a continuación:

1-Déficit de humedad en el suelo (DHS).

2- Déficit permisible de manejo (DPM).

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

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

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

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

6-Coeficiente de uniformidad estadístico (CUE).

7- La eficiencia de aplicación (Efa).

8- Eficiencia potencial de aplicación (EPA).

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

Por otro lado, en la modernización de regadíos es importante identificar y valorar los distintos factores que condicionan la calidad del riego, antes y después de las actuaciones. Algunos factores que afectan a la uniformidad de reparto del agua tienden a compensarse en los sucesivos riegos, mientras que otros tienden a intensificar su efecto negativo.

A) Para el caso de equipos **pivote** pueden citarse entre los primeros, la falta de uniformidad en la velocidad de desplazamiento del equipo, y entre los segundos:

- El funcionamiento defectuoso de algún emisor.
- Las diferencias en las condiciones de funcionamiento de los aspersores por cambios de elevación o pérdidas de carga.
- La existencia de escorrentía.
- La pobre distribución del agua en los bordes.

B) En **coberturas totales**, entre los factores que tienden a compensarse en los sucesivos riegos estarían la distorsión producida por el viento sin dirección dominante cuando se riega en bloques, y entre los que tienden a intensificarse:

- El funcionamiento defectuoso de aspersores (por problemas en la rotación, en la homogeneidad de tamaños y tipos de boquillas, en la adecuada combinación presión-boquillas-marco de riego, en la inclinación del tubo portaaspersor, etc.).
- Una diferencia de presión excesiva entre distintos puntos de la parcela (superior al 20% de la presión media de los aspersores). Esto suele ser por un incorrecto diseño hidráulico de la instalación (Martínez y Tarjuelo, 2006).

Partiendo entonces del hecho que, cuando los CU son elevados, menores son los requerimientos de agua para que los cultivos obtengan un determinado volumen de producción, y su conocimiento es fundamental para optimizar el uso del agua ante la carencia de ella o de otro recurso que limite el riego. Las pérdidas de agua debido a CU bajos, tienen un **costo** en más transporte para garantizar más riegos, mayor **consumo de energía**, mayor degradación de suelos, pérdidas de fertilizantes, etcétera (Aleman, 2001). Por lo tanto, se hace necesaria la evaluación de las máquinas para tener un control de cómo

están regando. Esto se recomienda por los fabricantes para realizar antes de comenzar cada campaña.

Para evaluar la repercusión de los CU, en la bibliografía se detectan varios criterios. Así, siguiendo la opinión de Montero *et al.* (2005) los CU que estén entre el 75% al 85% serían evaluados de regular. Mientras Tarjuelo (2005) plantea que el coeficiente de uniformidad óptimo para cultivos extensivos de profundidad radical media debe estar entre el 82% y el 88%.

Un criterio similar siguen Moreira (2006), Mesa y Valdés (2006) y César-de-Lima *et al.* (2008), quienes afirman que con los valores de CU por debajo del 80%, la parcela queda mal regada.

1.3.1. Evaluación de pivotes centrales

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

Para la realización de las evaluaciones en los sistemas pivotes, se sigue la metodología propuesta en las normas internacionales: ANSI/ASAE STANDAR S436 (1995) e (ISO-11545) propuesta por Tarjuelo (2005). Las evaluaciones pluviométricas en las máquinas de riego de pivote central, resultan más complejas 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. Muestra de ello en la bibliografía internacional constituyen los aportes de Merrian *et al.* (1980), destacándose los trabajos de Heermann y Hein (1968), que modificaron el conocido Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (1942) para ponderarlo por superficie.

Posteriormente, Merrian y Keller (1978) y Merrian *et al.* (1980), citado este último por Faci y Bercero (1990), contribuyeron al desarrollo de los actuales conceptos de la ponderación por superficie. En Cuba, se publica sobre la ponderación por superficie para las máquinas de pivote central en los trabajos de Pacheco *et al.* (1995), Pérez (1998) y, Pacheco y Galvez (2003).

Dichas evaluaciones permiten comprobar el diseño de las unidades de riego y su correcto funcionamiento, detectando los problemas que en ellas se encuentran. La evaluación de un sistema de riego se centra fundamentalmente en la obtención de una medida de la uniformidad de aplicación del agua de riego y de otros indicadores del comportamiento del riego (eficiencia de aplicación, coeficiente de déficit, etc.).

Obtenida tal uniformidad se puede estimar la adecuación del sistema de riego y en su caso detectar los posibles errores que se encuentren en él. En este sentido, el coeficiente de variación, relacionado con la uniformidad del sistema, permite distinguir de diversos

factores en la uniformidad obtenida, localizando de esta forma los fallos producidos en el sistema de riego.

La técnica analítica que se aplica para obtener información de un sistema de riego es la evaluación del riego. Esta permite realizar un diagnóstico del riego, determinar su nivel de calidad, y establecer sus debilidades. La evaluación del riego no sólo sirve para el diseño, sino que es una fuente primaria de información para su manejo. En ocasiones, la calidad de un sistema de riego puede ser sustancialmente mejorada por acciones que no modifican las infraestructuras de riego (Mesa y Valdés, 2006).

1.4. Empleo de la energía eléctrica en la actividad de riego

Durante años, el aumento en el consumo de los recursos de agua y de energía se consideró como un claro indicador de crecimiento económico. En el mundo de hoy, estos términos se han invertido debido al aumento de la conciencia ambiental, al reconocimiento de que se trata de recursos escasos y a que su utilización da lugar a impactos sobre el medio ambiente. Por lo que el despilfarro de agua y energía es considerado como un comportamiento insostenible en términos ecológicos.

La agricultura de regadío se constituye como el sector más demandante de agua a escala mundial con un 87% de los usos consuntivos. Estos altos consumos de agua implican también un gran consumo de energía eléctrica cuyos gastos suelen ser, en la actualidad, uno de los apartados de mayor magnitud dentro de la actividad del riego, condicionando la rentabilidad de muchos cultivos (CNE, 2003).

De hecho, el incremento del consumo de energía en la agricultura en los últimos años está esencialmente condicionado por la puesta en riego de nuevas tierras y por la modernización de los regadíos que si bien ha logrado mejorar ostensiblemente la eficiencia hídrica ha

supuesto una mayor demanda energética al pasar del riego tradicional a riego a presión. La creciente preocupación por el aumento del consumo energético, causa directa del incremento de emisiones de gases de efecto invernadero, conducen a todos los sectores productivos a tratar de mejorar la eficiencia energética en los distintos sectores de la producción.

Por las características de la investigación, se ha elegido como modelo de estudio el sistema de riego mediante pivote central. Los consumos energéticos de riego en estos sistemas son muy variados, ya que dependen de la tipología del terreno, características de los equipos, régimen de funcionamiento, desgastes, entre otros factores.

Un estudio de los sistemas de bombeo en México en el 2011 expone que, en correspondencia con Hernández (2012a), los consumos para un pivote de cinco tramos más voladizo (294 m) con abastecimiento de agua a 800 m del centro del pivote y una perforación de 140 m de profundidad, es de 39,54 kWh para un caudal de 136 m³/h, dando un consumo específico de 0,29 kWh/m³ de agua regada.

En el caso del consumo considerando la toma de agua a pie de la cabeza del pivote, con un pivote de 400 m, el consumo específico se encuentra entre los 0,098 y 0,132 kWh/m³ de agua regada según la presión necesaria (Maskey *et al.*, 2007).

Waldir (2000) menciona en los índices más utilizados en el análisis económico de procesos agrarios un consumo de 0,35 kWh/m³ para sistemas de riego mediante pivote. Por su parte, César-de-Lima *et al.* (2008) refleja en sus estudios un consumo específico de entre 0,421 y 0,731 kWh/m³ de agua bombeada para distintos sistemas de pivote evaluados con diferentes características de terreno. En el mismo sentido, Marquelli (1994 en Rocamora *et*

al., 2010) estima los consumos específicos de energía en métodos de irrigación por aspersión entre los 0,2 y 0,6 kWh/m³ (Rocamora *et al.*, 2010).

Por otra parte, en el estudio del modelo energético de autoconsumo con balance neto para el riego agrícola mediante energía fotovoltaica, se demostró a partir del análisis de los casos en distintas zonas de estudio que los índices de consumo específicos se comportan entre 0,2 y 0,6 kWh/m³ y con una eficiencia de riego de un 80%, propia de los sistemas de riego mediante pivote central (Hernández, 2012b). Estos resultados coinciden con lo planteado por (Tarjuelo, 2005).

Mientras que en un estudio realizado por (López *et al.*, 2012) en la Empresa de Cultivos Varios “La Cuba” que evaluó el consumo energético de las máquinas de pivote central eléctricas se obtuvieron varios indicadores de consumo energético para los diferentes cultivos. Uno de ellos fue el del consumo energético por metro cúbico de agua empleado (kWh/m³). Y dentro de los resultados se destaca, los 0,23 kWh/m³ para la papa, los 0,25 kWh/m³ para el frijol y los 0,19 kWh/m³ para el boniato.

A su vez Duarte *et al.* (2006) en el estudio para determinar los costos de operación en los sistemas de riego mecanizados obtuvo valores ascendentes a los 10 314,23 kWh para el cultivo de la papa con máquinas de 250 m, en las que se emplean módulo de aspersión Spray. En este estudio los investigadores comparan diferentes variables tales como: varias longitudes de máquinas, bombeo con el empleo de diesel y energía eléctrica, módulo de aspersión con el empleo de Rotator y Spray; así como el costo de la energía consumida en el riego en horarios de la madrugada y del día. Este estudio además del cultivo de la papa analiza el cultivo del maíz.

Para ambos cultivos se demuestra que tanto el empleo de aspersores tipo Rotator, como de mayor longitud de la máquina, incrementan el consumo energético. Mientras que el bombeo con combustible diesel y el riego en horario del día incrementan el costos de la actividad de riego.

En fin, a modo de ejemplo, en España la energía consumida en la agricultura de regadío ha experimentado un aumento del 657% comparándolo con la demanda desde la época de los años 50. Esto llega a representar: el consumo y la potencia, contratada por parte del regadío, casi el 2% del total de España (del Campo, 2013). Pero el incremento de las tarifas eléctricas ha traído como consecuencia que la electricidad ocupe el primer lugar de los costes de una explotación de regadío, superando a las semillas, fertilizantes, combustibles y costes laborales (ASAJA, 2013).

Otro tanto ocurre en Chile donde el costo directo de los gastos energéticos en el riego puede incidir entre 6,5% y 43,4% del costo total de los cultivos dependiendo de la zona en que haya que elevar el agua de riego, de la demanda atmosférica y de la eficiencia en el uso del agua. Además, los costos son tan elevados porque en los últimos años el costo de kWh se han incrementado a razón de \$10 el kWh al año (Ferreyra *et al.*, 2010).

En resumen, el uso de energía eléctrica en el riego agrícola se relaciona directamente con la cantidad de agua que se aplica a los cultivos y los requerimientos de potencia en los equipos de riego.

1.4.1. Principales recomendaciones para la disminución del consumo energético de la actividad de riego

La revisión de la bibliografía demuestra una coincidencia respecto a las estrategias a seguir para la disminución del consumo energético de la actividad de riego con sistemas de pivote central. En tal sentido, se recomienda adoptar dos soluciones esenciales: disminuir el consumo de agua y adecuar correctamente el sistema de bombeo.

Respecto a la disminución del consumo de agua esta se implementa a partir de dos vías fundamentales. La primera consiste en un mejor conocimiento de las necesidades de cuándo y cuánto regar; o sea del establecimiento de un consistente método de planificación del riego, a través de los servicios de asesoramiento al regante. Mientras la segunda refiere a la reestructuración y/o modernización con cambio de sistema de riego. Dicho cambio pudiera implicar un mayor coeficiente de uniformidad de riego y menor pérdida de agua, lo que eleva la eficiencia en el riego.

Por su parte, la correcta adecuación del sistema de bombeo se logra mediante una mejora de los rendimientos en los equipos de impulsión, una automatización de los sistemas de mando, maniobra y control; un diseño de redes optimizadas energéticamente; una reducción de la altura manométrica a la que debe trabajar y una mejora del factor de potencia. De igual manera, la elección de la tarifa eléctrica más adecuada según el horario de menor costo del servicio también incide en el ahorro del consumo energético.

De manera general, numerosos autores Tarjuelo (2005); Pérez, *et al.* (2009); Rocamora, *et al.* (2010) y Hernández, *et al.* (2012) consideran que para optimizar el consumo energético en la actividad de riego con máquinas de pivote central se deben cumplir con varios

procedimientos. El primero consiste en determinar cuándo se riega y cuánta agua se aplica, considerando la planificación de la irrigación y la forma de estimar la humedad del suelo.

Igualmente, se verificará el estado de los aspersores y su correcta ubicación de acuerdo a la carta de distribución que brinda el fabricante con la finalidad de que el pivote central proporcione un modelo de aplicación uniforme a lo largo de toda la longitud de la máquina. También deben revisarse las pérdidas en tuberías y realizarse mantenimientos a las bombas y los motores. Es necesario, además, instalar en los motores arranques compensados para evitar picos de intensidad.

A partir de las anteriores vías de reducción del consumo energético se ha demostrado que el uso de un método consistente de planificación de riego a menudo puede disminuir el consumo de energía entre un 7% y un 30%. En el mismo sentido, una disminución del 50% de la presión de trabajo con el cambio de los sistemas de riego implicaría un ahorro de energía de un 20%.

Un sistema desarrollado para que las máquinas de pivote central rieguen a bajas presiones y, por consecuencia, disminuyan el consumo energético y la evaporación del agua se conoce por el nombre de LEPA por sus siglas en inglés (Low Energy Precision Application). Este se caracteriza por aplicar el agua al suelo sin mojar el cultivo.

En sentido general, el ahorro energético en la actividad de riego con sistemas de pivote central contribuye al ahorro de los recursos renovables, a la protección del medio ambiente y a la eficiencia económica en las empresas agrícolas. Su correcto diseño y empleo posterior asegura, a su vez, la disminución de la sobreexplotación de los recursos materiales.

Conclusiones parciales:

- Los sistemas de riego con máquinas de pivote central eléctricas posibilitan un adecuado manejo de las necesidades hídricas de los cultivos y, por ende, un mejor aprovechamiento de los recursos agua y energía.
- La disminución del consumo energético en la actividad de riego con máquinas de pivote central se relaciona con la disminución del consumo de agua y con un adecuado sistema de bombeo.
- La eficiencia en la disminución del consumo de agua se logra con una apropiada programación de riego y con un mantenimiento de la calidad en esta actividad basada en el coeficiente de uniformidad.

Capítulo II: Materiales y Métodos

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Caracterización de la Máquina de Riego

Para la determinación de la demanda energética de la máquina de riego de pivote central se seleccionó la UBPC-3 “Jesús Menéndez” en la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”. Para caracterizar la máquina de riego se realizaron visitas a la unidad donde se revisaron los Manuales Técnicos del sistema instalado así como la observación in situ de las características de cada conjunto. La investigación se centrará fundamentalmente, en la UBPC-3 “Jesús Menéndez” por constituir la única unidad que no posee un registro fiable del consumo energético, al no tener instalada en la máquina de riego instrumentos de medición del consumo eléctrico.

2.2. Metodología para la medición de la demanda energética del sistema

Para determinar el consumo eléctrico de la actividad de riego se empleó un amperímetro de gancho modelo 07564 CMI-100 GREENLEE (Figura 2.1). Con este instrumento se tomaron mediciones en cada fase de la corriente a la entrada del sistema de riego. Estas mediciones se realizaron en la entrada de la máquina y en la entrada del motor de la estación de bombeo.

.



Figura 2.1 Amperímetro de gancho modelo (07564 CMI-100 GREENLEE)

El amperímetro de gancho fue calibrado con anterioridad en el taller de la Unidad Empresarial de Base (UEB) Integral de Servicios Técnicos de la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú” por los electricistas de esta entidad.

Se realiza un total de seis mediciones por cada fase, con un intervalo entre ellas de una hora, y para cada porciento de regulación de la máquina, empleados en todos los riegos efectuados en la campaña para un total de 108 mediciones.

Finalmente, la determinación del consumo energético total se utiliza la fórmula de Amador (1987), que multiplica el promedio de las tres fases por el voltaje, la raíz de tres y el factor de potencia; que en este caso fue fijado en 0,71 (fórmula 2.1). Este procedimiento se realiza de forma independiente para cada regulación empleada y para la estación de bombeo. Luego, los resultados se multiplican por el tiempo de riego y obtenemos el consumo eléctrico de esta actividad (fórmula 2.2). Para ello se tiene en cuenta la cantidad de riegos aplicados a los diferentes porcentos con que se reguló la máquina y el tiempo total que duraron.

1. Potencia

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \theta \quad (2.1)$$

donde:

P: Potencia absorbida por el sistema de riego, W;

I: intensidad de la corriente, A;

V: voltaje, volt;

$\cos \theta$ = Fp: factor de potencia.

2. Energía consumida por el sistema de riego

$$E = P * Tr \quad (2.2)$$

donde:

E: Energía consumida por el sistema de riego, kWh;

P: potencia absorbida por el sistema de riego, kW;

Tr: tiempo de riego, h.

Las mediciones del consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central se realizaron en la campaña 2013-2014. En dicha campaña, el cultivo seleccionado para analizar esta actividad lo constituyó la papa (*Solanum Tuberosum* Sw) La variedad Everest fue la sembrada en la campaña objeto de estudio. La plantación del tubérculo se efectuó del 25-30 de diciembre de 2013.

La actividad de riego en la campaña comenzó con la aplicación del mine, que constituye el riego que se aplica antes de la plantación del tubérculo. Este tipo de riego tiene el objetivo de llevar la humedad del suelo a la capacidad del campo.

Posteriormente, durante el desarrollo del cultivo se fue aplicando riegos a diferentes regulaciones con la finalidad de satisfacer su demanda hídrica, según sus etapas de desarrollo hasta llegar a la cosecha que comenzó el 30 de marzo. Durante toda la campaña, la cantidad de riegos efectuados ascendió a 15 (Tabla 2.1.).

Tabla 2.1 Total de riegos aplicados al cultivo de la papa durante la campaña 2013-2014

Número de riegos	% de regulación de la máquina	Fechas de los riegos	Intervalo entre riegos (días)
1	8	21-12-13	(Mine)
2	20	12-01-14	-
3	16	22-01-14	10
4	20	25-01-14	3
5	13	03-02-14	9
6	8	08-02-14	5
7	13	15-02-14	7
8	13	22-02-14	7
9	30	25-02-14	3
10	30	27-02-14	2
11	20	03-03-14	4
12	13	08-03-14	5
13	13	13-03-14	5
14	13	18-03-14	5
15	16	24-03-14	6

Ahora bien, para la aplicación de la actividad de riego es necesario ajustar la regulación de la máquina según la carta técnica que ofrece el fabricante. En dicha carta se establece, en correspondencia con la regulación del cronómetro de avance porcentual, la lámina de agua que se aplica, la velocidad de avance de la última torre y el tiempo de duración del riego (Anexo 2).

En esta campaña, sin embargo, los riegos efectuados emplean regulaciones que no aparecen en esta carta técnica. En tal caso, se encuentran los riegos ejecutados al 8%, 13% y 16%. El motivo a que se utilicen estos porcentajes se debe a que ellos constituyen las configuraciones que ofrecen una lámina de agua apropiada para las diferentes etapas de desarrollo del cultivo.

El cambio de regulaciones implica que varíen los tiempos de duración del riego con respecto a los indicados en la carta técnica. Así, los tiempos de duración del riego con la máquina regulada a estos porcentajes son de 117.76 h, 57.37h y 42.4h, respectivamente.

2.3. Metodología para la determinación de los factores que incrementan el consumo de energía

Para determinar los factores que influyen en el incremento del consumo energético en la actividad de riego se efectuó la revisión de los registros de riego y las investigaciones realizadas con anterioridad en esta máquina por Cueto (2011); Machado (2012); Treyes (2013); y Arguelles (2014).

Para comprobar la presión de trabajo, tamaño y número de boquillas de los aspersores, altura de los emisores, se llevó a cabo una revisión de la distribución de los aspersores, su altura según la carta de aspersión de la máquina a partir de las recomendaciones de (Tarjuelo, 2005). Se revisó además el estado de la conductora para detectar la existencia de salideros. A su vez, se comprobó el estado de la estación de bombeo a través del modelo empleado en el IAgriC para el diseño de proyectos de riego (Anexo 3).

2.4. Metodología para la realización de la pluviometría

La evaluación pluviométrica para comprobar la uniformidad en la aplicación del agua en el riego se realizó basado en la metodología propuesta por la norma cubana NC ISO 11545: 2005. Los datos obtenidos en la pluviometría se procesaron en el software Pluviopivote (Figura 2.2) desarrollado por Pacheco y Pacheco (2004) que incorporó en su algoritmo de cálculo las fórmulas descritas por Tarjuelo (2005).

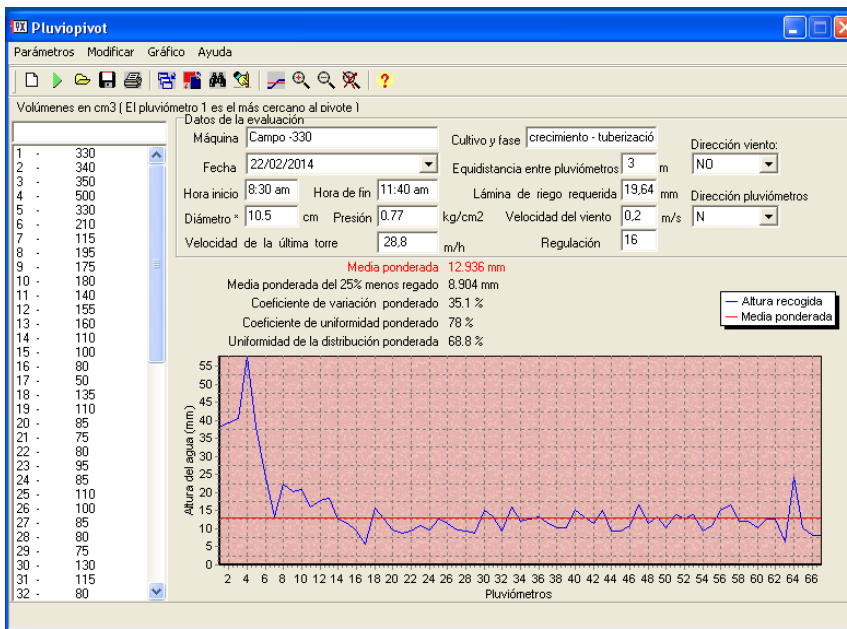


Figura 2.2 Ventana principal del software Pluviopivote

Los ensayos para determinar la uniformidad se realizaron en condiciones normales de trabajo, aprovechando los primeros estados de desarrollo del cultivo para no interceptar la recogida de agua en los pluviómetros. La abertura es simétrica y sin depresiones, la altura es de 0,15 m y el diámetro de entrada del colector fue de 0,13 m. Estos componentes se encuentran dentro de los parámetros que exige la norma (NC, 2005).

La presión de trabajo de la máquina se ajustó y se mantuvo estable durante el ensayo, teniendo en cuenta la norma NC ISO 11545.

2.5 Metodología para el análisis económico

Para el cálculo del análisis económico del consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctricas se utiliza la revisión de documentos económicos de la UBPC y la aplicación de las tarifas para el consumo de energía, ofrecidas por el Ministerio de Finanzas y Precios. En este caso se utilizó, específicamente, la tarifa M 3-B (Tarifa de Media Tensión para regadíos agropecuarios con tres registros de energía), contenida en la

Resolución no 28-2011 de este ministerio. En dicha resolución se aplica la cláusula de ajuste por variación del precio de los combustibles (factor K).

Esta tarifa M 3-B establece los períodos de aplicación del precio de la energía teniendo en cuenta tres momentos del día. El primer período constituye el “día”, que oscila entre las 06:00 hasta las 18:00 horas. El segundo momento se conoce como “pico eléctrico” y fluctúa entre las 18:00 y las 22:00 h. Y, el último es “madrugada”, que se establece entre las 22:00 y las 6:00 h de la mañana. A continuación se presenta una tabla que muestra la aplicación de la tarifa M 3-B (Tabla 2.2).

Tabla 2.2 Tarifa M 3-B

Aplicación de la tarifa M 3- B por cada kWh consumido	
Día: 06:00 a 18:00 horas	$(0,0481 \text{ \$kWh} * K + 0,0638 \text{ \$kWh})$ *consumo día en kWh
Pico eléctrico 18:00 a 22:00 horas	$(0,0241 \text{ \$kWh} * K + 0,0638 \text{ \$kWh})$ *consumo pico en kWh
Madrugada 22:00 a 6:00 de la mañana	$(0,0161 \text{ \$kWh} * K + 0,0638 \text{ \$kWh})$ *consumo madrugada en kWh

Es necesario acotar que se realizará el facturado doble de la cuenta por cada kWh consumido si se detecta el uso de la bomba de regadío en horario pico. Si la demanda máxima real durante el mes es mayor que la contratada se facturará la diferencia a 21,00 \$/kW según corresponda.

2.6 Metodología para el procesamiento estadístico

Los valores obtenidos en las mediciones fueron sometidos a un análisis estadístico con el procesador estadístico StartGraphicsPlus, versión 5.1. Para desarrollar el análisis se

determinó un promedio del consumo energético del sistema para una hora en cada una de las regulaciones de la máquina (Anexo 4).

Los test aplicados fueron, las medidas de tendencia central, los coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados. Se aplica también el contraste de hipótesis a través del método no paramétrico de Kruskal-Wallis y el contraste de múltiples rangos. El contraste de hipótesis se realizó para comparar los promedios de consumo energético en una hora, según las diferentes regulaciones de la máquina. Mientras que el contraste de múltiples rangos es para determinar los grupos homogéneos o grupos que se diferencian entre sí. Asimismo el procesador de datos Microsoft Excel se empleó para la construcción de los gráficos.

2.7. Metodología para la elaboración del plan de medidas

Para la elaboración del plan de medidas para la disminución del consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central se tomaron como referencia los resultados de (ASAJA, 2013) y Soms (2000) los cuales consideran los diferentes agentes que involucra el proceso. Para conformar el plan se definen las siguientes tareas:

1. Organizar la información obtenida en el diagnóstico del consumo;
2. Establecer los objetivos dirigidos a minimizar la demanda energética;
3. Identificar los colectivos o agentes a los que se dirigen (los directivos y los operadores de las máquinas);
4. Desarrollar líneas o propuestas de actuación;
5. Distribuir los recursos disponibles para cada propuesta (recursos humanos, financieros, técnicos);
6. Identificar el papel que deben desempeñar los colectivos afectados;
7. Identificar los posibles interlocutores (instituciones, agentes de desarrollo, asociaciones, redes);

8. Evaluar el impacto de las medidas propuestas.

Conclusiones parciales:

- La medición de la demanda energética se realiza a partir de una metodología in situ con el empleo de un amperímetro de gancho.
- El uso de energía eléctrica en el riego agrícola se relaciona directamente con la cantidad de agua que se aplica a los cultivos y con los requerimientos de potencia de los equipos que conforman el sistema de riego.
- La organización de la información obtenida de la demanda energética del sistema conjuntamente con los factores que influyen en el incremento de ella posibilitan la elaboración de un plan de medidas para su disminución.
- El plan de medidas va a constituir un instrumento de planificación para los agentes interesados, que sin su participación no se podría asegurar la sostenibilidad de las acciones.

Capítulo III: Resultados y Discusión

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de la Máquina de Riego de la UBPC-3 “Jesús Menéndez”

El presente trabajo se realizó en el campo 330 de la UBPC-3 “Jesús Menéndez”, perteneciente a la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”. Esta unidad está ubicada en el km 4 ½ de la carretera a Sagua la Grande, municipio Santa Clara, provincia Villa Clara. La zona se encuentra a una altura de 116,4 metros sobre el nivel del mar (msnm), con una latitud de 22,43° y longitud de 79,98°, lo que se aprecia en la figura 3.1.



Figura 3.1 Ubicación geográfica de la UBPC -3 “Jesús Menéndez”

La tecnología de riego empleada fue por aspersión, con el empleo de una máquina de pivote central eléctrica, cuyas características se reflejan en la tabla 3.1. El suelo en el cual está emplazada la máquina se clasifica como: pardo gleizoso en superficie (Hernández *et al.*, 2006), cuya capacidad de campo en base a suelo seco (ss) es de 52,7%, y la densidad aparente es de 0,94 g/cm³

Tabla 3.1 Características de la máquina de riego de pivote central eléctrica de la UBPC-3 “Jesús Menéndez”

Marca	No. de torres	Área Regada (ha)	Caudal (l/s)	Longitud (m)	Hidromódulo (l/s/ha)	Eficiencia de diseño (%)	Presión (bar)
Western	4	18.2	23.45	239,9	1,35	85	1,9

En cada torre la máquina cuenta con una unidad motriz (Figura 3.2); los motores eléctricos trifásicos están especialmente diseñados para el riego, siendo capaces de trabajar en condiciones ambientales extremas. Los motoredutores poseen una potencia de 0,45 kW con una velocidad disponible en el eje de transmisión de 1499 rpm (4 polos).

Estos motores están equipados con una protección térmica interna contra el recalentamiento y la sobre-tensión excesiva. El par de arranque de los motores es 790,89 N m y el par continuo 124,28 N m. Cada motor transmite a las dos ruedas mediante una transmisión cardan, tornillo sinfín y desmultiplicador, cuya relación de transmisión es igual 52:1. El tamaño nominal neumático 14,9*2 y el radio del neumático cerrado 57,4 cm. La velocidad máxima de la última 3,05 m/min.



Figura 3.2 Torre

En el módulo de aspersión que presenta esta máquina se detecta que los aspersores se encuentran espaciados a 192 cm entre sí y a 1 m con respecto al suelo, instalados en bajantes flexibles con sus contrapesos. El tipo de aspersores es SPRAYHEAD con boquillas D3000B (Figura 3.3), su solape es del 150%. Tanto la carta de aspersión como las regulaciones de la aplicación del agua a través de la configuración del cronómetro se presentan en los Anexos 1 y 2.



Figura 3.3 Aspersor tipo SPRAYHEAD

La fuente de abasto de esta máquina es la presa Arroyo Grande I. Su conjunto de motobomba está conformado por un motor trifásico marca SIMENS modelo D-91056 Eralagen y una bomba horizontal marca CAPRARI modelo MEC-MR80 (Figura 3.4). La estación de bombeo se encuentra a una distancia aproximada de 490 m del centro del pivote. Ambas partes están conectadas a través de una conductora que al principio está

conformada por un tubo de hierro con un diámetro de 20,32 cm, luego se reducen a los 15,24 cm en su parte central, que es de tubería de PVC. Esta parte de la conductora representa el 97%. En su parte final, vuelve a ser de hierro, ensanchándose a 20,32 cm, hasta ser conectada al centro del pivote.



Figura 3.4 Electrobomba instalada en la estación de bombeo (foto tomada del manual)

3.2. Medición de la demanda energética del sistema

Para determinar la demanda energética se efectuaron una serie de mediciones en la máquina de pivote central eléctrica. A continuación se muestran solo los resultados en los que la máquina se encontraba regando con una configuración porcentual que no aparece en la carta técnica (Tabla 3.2).

Tabla 3.2 Mediciones en la máquina de riego, regulada al 8%, 13% y 16 %

Mediciones en la máquina de riego (A)			
Regulada al 8%			
Mediciones	Fase 1	Fase 2	Fase 3
1	5,8	1,7	3,3
2	5,6	1,5	3,1
3	5,9	1,9	3,5
4	5,8	1,7	3,4
5	5,7	1,8	3,2
6	5,9	1,6	3,3
Media	5,78333	1,7	3,3
Varianza	0,0136667	0,02	0,02

Desviación Típica	0,116905	0,141421	0,141421
Promedio General			3,59444
Regulada al 13%			
Mediciones	Fase 1	Fase 2	Fase 3
1	4,5	7	5,6
2	4,8	7,1	5,6
3	4,5	6,9	6,1
4	4,4	6,7	5,7
5	4,6	6,8	6
6	4,4	6,9	5,8
Media	4,53333	6,9	5,8
Varianza	0,0226667	0,02	0,044
Desviación Típica	0,150555	0,141421	0,209762
Promedio General			5,74444
Regulada al 16%			
Mediciones	Fase 1	Fase 2	Fase 3
1	7	6,7	5
2	6,6	6,8	4,8
3	6,8	6,6	4,9
4	6,9	7	4,6
5	6,8	6,9	5
6	6,7	6,8	5,1
Media	6,8	6,8	4,9
Varianza	0,02	0,02	0,032
Desviación Típica	0,141421	0,141421	0,178885
Promedio General			6,16667

El anterior análisis estadístico permite concluir que para todos los casos el valor del coeficiente de asimetría estandarizado se encuentra dentro de los rangos esperados para los datos de una distribución normal. Lo que demuestra la confiabilidad de los datos obtenidos.

Además de estas mediciones, se efectuaron otras en las regulaciones de los restantes riegos al 20% y 30%, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.3:

Tabla 3.3 Mediciones en la máquina de riego, regulada al 20% y 30%

Mediciones en la máquina de riego (A)			
Regulada al 20%			
Mediciones	Fase 1	Fase 2	Fase 3
1	5	3	6,9
2	4,7	2,9	7
3	4,6	2,9	6,7
4	4,8	2,7	7,1
5	4,8	3,1	6,8
6	4,9	2,8	6,9
Media	4,8	2,9	6,9
Varianza	0,02	0,02	0,02
Desviación Típica	0,141421	0,141421	0,141421
Promedio General			4,86667
Regulada al 13%			
Mediciones	Fase 1	Fase 2	Fase 3
1	8,4	6,3	3,4
2	8,3	6,1	3,7
3	7,9	6,1	3,4
4	8,2	6	3,3
5	8,3	5,9	3,7
6	8,1	6,2	3,5
Media	8,2	6,1	3,5
Varianza	0,032	0,02	0,028
Desviación Típica	0,178885	0,141421	0,167332
Promedio General			5,93333

En este caso, al igual que en el anterior queda demostrado que en los resultados de ambas regulaciones el valor del coeficiente de asimetría estandarizado está dentro de los rangos esperados para los datos de una distribución normal.

Además el análisis de los promedios de las mediciones de la variación de la corriente en la máquina de pivote central eléctrica permite concluir que el mayor valor se obtuvo cuando la máquina se encontraba regulada al 16% y el más bajo en cuando estaba al 8%. El segundo valor más bajo fue el obtenido para la regulación del 20% y los de las regulaciones del 13% y el 30% se asemejan, aproximándose al valor del 16%.

Estos valores van a influir de manera directa en la demanda de potencia. A mayor demanda, mayor será el consumo energético, aunque en este caso también está dado por el tiempo que se demora la máquina en cada regulación. Por tanto cuando la máquina estuvo regulada al 16% fue cuando consumió más energía.

De forma independiente, se realizaron las mediciones del consumo energético en el sistema de bombeo. Los resultados de estas mediciones se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.4 Mediciones en la entrada del motor de la bomba

Mediciones en la entrada del motor de la bomba (A)			
Mediciones	Fase 1	Fase 2	Fase 3
1	14,7	14,7	15,4
2	14,5	15	15,6
3	14,2	14,8	15,2
4	14,5	14,6	15,5
5	14,3	14,9	15,4
6	14,8	14,8	15,3
Media	14,5	14,8	15,4
Varianza	0,052	0,02	0,02
Desviación Típica	0,228035	0,141421	0,141421
Promedio General			14,9

Los valores obtenidos en el motor de la bomba son más altos que los obtenidos en la máquina de riego. Esto se debe a que la bomba demanda una mayor potencia, por lo que el consumo energético de la estación de bombeo es superior al de la máquina de riego.

Lo anterior podemos contrastarlo, igualmente, a partir del análisis estadístico. En el test de Kruskal-Wallis que prueba la hipótesis nula de igualdad de las medianas dentro de cada una de las mediciones tanto en la máquina como en la bomba se obtuvo que para un p-valor inferior a 0,05 con un nivel de confianza del 95% existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas (figura 3.5).

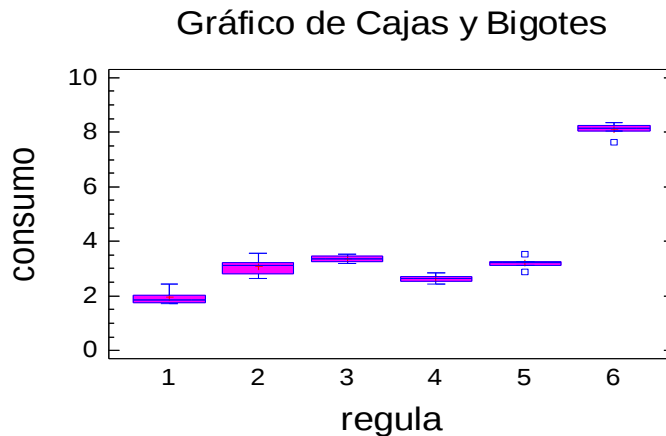


Figura 3.5 Gráfico de Cajas y Bigotes, diferencia entre medianas

En este gráfico se puede apreciar que la regulación de mayor consumo es la seis correspondiente a la estación de bombeo. Mientras que la de menor es la uno que corresponde a la máquina regulada al 8%.

La segunda regulación de la máquina que menos consumo reflejó es la del 20%, representada en el gráfico con el número cuatro. El valor más elevado en la máquina se alcanzó cuando estaba regulada al 16%, representada por el número tres. No obstante, el valor de esta regulación es similar a los de las regulaciones del 13% y 30%, números dos y cinco, respectivamente. Estos mismos resultados fueron corroborados por el test de Contraste Múltiple de Rango (Tabla 3.5).

Tabla 3.5 Test de contraste de múltiple rango

Método: 95,0 porcentaje LSD			
Regulación	Frec.	Media	Grupos homogéneos
1	6	1,94793	X d
4	6	2,63332	X c
2	6	3,08423	X b
5	6	3,21048	X b
3	6	3,35477	X b
6	6	8,09835	X a

Los valores de consumo sometidos a los anteriores análisis estadísticos fueron los correspondientes al promedio del consumo energético de la máquina a las diferentes regulaciones para una hora (Anexo 4).

Para determinar el consumo energético del sistema de riego durante la campaña se tiene en cuenta el tiempo total de riego. Los resultados obtenidos a partir de la aplicación de las formulas 2.1 y 2.2 se aprecian a continuación.

Tabla 3.6 Consumo total eléctrico a diferentes regulaciones de la máquina de riego

<i>(%)</i>	<i>Tiempo (h)</i>	<i>C. Riegos</i>	<i>T. Total (h)</i>	<i>Potencia (kW)</i>	<i>Energía (kWh)</i>
8	117,76	2	235,52	1,95	459,26
13	57,37	6	344,22	3,10	1067,08
16	42,40	2	84,80	3,34	283,23
20	39,75	3	119,25	2,64	314,82
30	26,50	2	53	3,21	170,13
Total	-	15	836,79	-	2 294,52

Los resultados mostrados en la tabla permiten concluir que la demanda de potencia de la máquina varió desde los 1,95 kW hasta los 3,34 kW. Este parámetro va a influir de manera directa en el consumo energético; conjuntamente con el tiempo y la cantidad de riegos efectuados a las diferentes regulaciones. Pues, como es posible comprobar, el mayor consumo se alcanzó para los riegos efectuados al 13% pese a no ser la regulación en la que la máquina demandó mayor potencia, sino que se debe a que fue la regulación en la que más riegos se efectuaron.

Por su parte, el valor del consumo energético de la estación de bombeo se muestra en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Consumo eléctrico total de la bomba

<i>Cantidad de riegos</i>	<i>Tiempo total (h)</i>	<i>Potencia (kW)</i>	<i>Energía (kWh)</i>
15	836,79	8,06	6 744,53

En resumen, teniendo en cuenta el consumo energético total de la actividad de riego a diferentes regulaciones de la máquina y el consumo de potencia de la se puede obtener el consumo energético total de la actividad de riego durante la campaña. Este valor asciende a los 9 039,05 kWh, considerándose elevado.

Otro indicador del consumo energético de la actividad de riego lo constituye el consumo específico de energía por metros cúbicos de agua bombeada. Este valor asciende a los 0,13 kWh/m³ de agua consumida por la actividad de riego.

Estos resultados son inferiores a los obtenidos por López *et al.* (2012) y Pérez *et al.* (2009). En opinión de este investigador se debe a que López *et al.* (2012) realizó su investigación para riegos con normas fijas y con máquinas de mayores dimensiones. Estas cuestiones aumentan el consumo energético, opinión que comparten, igualmente Pérez *et al.* (2009). Similar situación sucede con los valores referenciados en la revisión bibliográfica, pertenecientes al trabajo realizado por Pérez *et al.* (2009), que aunque fue realizado en máquinas con características similares a la de esta investigación, se analiza un número mayor de riegos (20 riegos) y con normas fijas.

3.3. Factores que inciden en el consumo energético

Como resultados de la revisión de documentos referida a si en la entidad los riegos se aplican teniendo en cuenta una programación adecuada, se obtiene que existe una regularidad en desarrollar riegos antes de fecha e innecesarios, teniendo en cuenta los balances hídrico agrometeorológicos revisados (Tabla 3.8). Cuestión esta que se evidencia

además en las investigaciones realizadas por los ingenieros Cueto (2011), Machado (2012), Treyes (2013) y Arguelles (2014).

Tabla 3.8 Manejo del riego**

Riegos	<i>Campañas</i>			
	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
Innecesarios	1	3	-	2
Adelantados	9	2	10	1
Insuficientes	2	6	-	-
Total de riegos	17	16	12	15

** : Esta tabla se construyó a partir de los documentos de la UBPC- 3 “Jesús Menéndez” y de los balances agrometeorológicos realizados como parte de las investigaciones desarrolladas por Cueto (2011), Machado (2012), Treyes (2013) y Arguelles (2014).

Estos resultados demuestran que al no efectuarse la actividad de riego de acuerdo a la planificación correcta, se incurren en gastos de energía innecesarios que elevan el coste de producción de la entidad, afectando su rendimiento económico. Ya sea por los riegos innecesarios como por los efectuados antes de tiempo pues de haberse realizado según lo planificado se hubiese requerido una menor cantidad de riegos. Estas cuestiones coinciden con (Duarte *et al.*, 2006), cuando plantea manejar la PR de adecuadamente trae aparejado un sustancial ahorro de agua y energía si se compara con el manejo de riego donde se fijen las normas de riego.

Igualmente, los riegos adelantados inciden en el aumento del consumo energético pues aumentaron los números de riego. Además, en esta campaña coincidieron con días en los que ocurrieron precipitaciones, provocando situaciones de sobresaturación. Mientras que los insuficientes, al aplicar normas pequeñas que no cumplen con la demanda hídrica del cultivo provocan un recorte en los intervalos de riego, incidiendo en la cantidad total de riegos efectuados.

Como generalidad, la mayoría de los riegos innecesarios se realizaron con la finalidad de fijar las aplicaciones tanto de medios biológicos como de productos químicos. No obstante, se considera que se hubieran podido hacer coincidir con los riegos que estaban planificados en el balance agrometeorológico.

Como resultado de la evaluación pluviométrica realizada en esta investigación se obtuvo un CU del 78% (Tabla 3.9). Al comparar este resultado con las evaluaciones pluviométricas anteriormente practicadas a la máquina se detecta que este es el mayor valor de uniformidad obtenido en los últimos cuatro años (Figura 3.6). Aún así está por debajo del 80%.

Tabla 3.9 Evaluación pluviométrica de la máquina Western de la UBPC-3

<i>Parámetros de la evaluación</i>	<i>UBPC 3</i>
Lámina Media Ponderada Aplicada (mm).	12.936 mm
Coefficiente de Uniformidad Ponderado (%).	78%

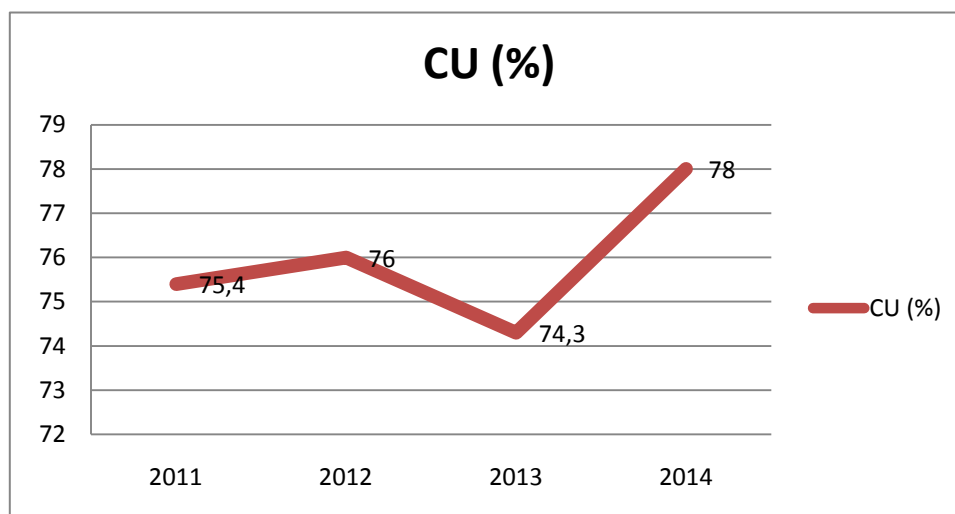


Figura 3.6 Comportamiento del CU en el período 2011-2014

Por lo tanto, coincidiendo con los criterios expuestos en la revisión bibliográfica el valor de CU obtenido en la evaluación pluviométrica le corresponde una clasificación de mal. Los

regantes saben que la uniformidad de riego está relacionada con la uniformidad de la producción. Cuando no existe limitación de agua, la falta de uniformidad la compensan mediante la aplicación de riegos mayores de los que se necesitarían si la aplicación fuera uniforme, de manera que la zona infraregada resulte menor.

Lo que en concordancia con Tarjuelo (2005) para valores de 70% de CU se necesita el 25% más de agua que si el CU fuese del 85%. Por lo tanto, para el valor de CU obtenido se necesitaría aplicar un 22.9% más de agua que si fuera del 85%, para poder obtener un 80% del área adecuadamente regada.

Siendo así y como en la campaña se aplicaron un total de 15 riegos (Tabla 2.1), se consumió un total de 70 608,72 m³ de agua. De ahí que considerando lo anteriormente planteado, se aplicó un 16 169,40 m³ más de agua de lo requerido, que si la máquina estuviera regando con un CU del 85%. Lo que significa que se consumieron 2 069,94 kWh más de lo requerido. Estos resultados coinciden con lo planteado por Alemán (2001) cuando concluye que las pérdidas de agua debido a CU bajos tienen un coste adicional en su transporte y consumo de energía al tener que realizar más riegos para satisfacer las demandas hídricas del cultivo.

Una de las cuestiones que influye en los bajos CU y, por consiguiente, repercute en un aumento del consumo de energía es la incorrecta distribución de las boquillas en las cinco torres, teniendo en cuenta lo establecido en la carta técnica del fabricante. Esto implica una influencia negativa en la repartición homogénea del agua sobre la superficie del suelo.

En el primer tramo de la máquina a partir del pivote, las boquillas aplican mucha agua. Esto está dado por un sobredimensionamiento de los emisores colocados al principio de la primera torre (Figura 3.7).

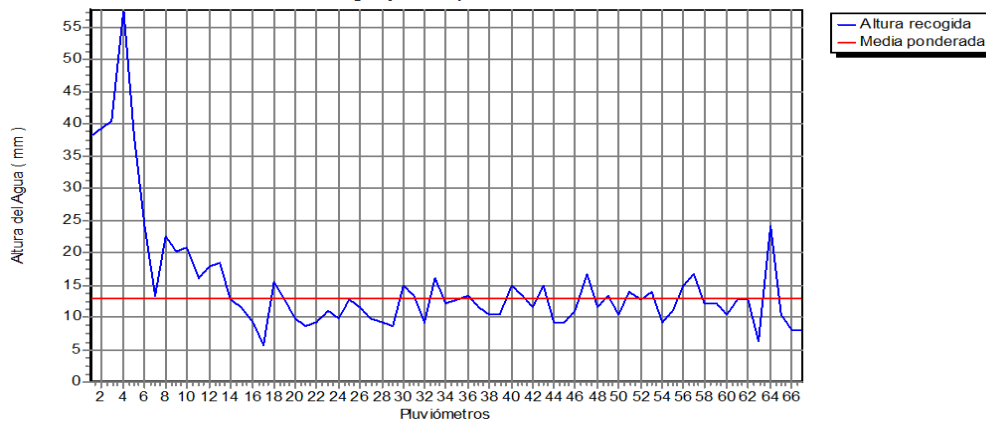


Figura 3.7 Altura del agua y media ponderada

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

Esta situación coincide con lo planteado por Martínez y Tarjuelo (2006), quienes aseguran que la falta de uniformidad en sistemas de riego por aspersión es consecuencia fundamentalmente de la variación de fabricación de los emisores, las diferencias de presión en la subunidad, el envejecimiento, la falta de conservación y mantenimiento y las obstrucciones.

Y si se analiza en detalle la presión hay que resaltar que en esta máquina, ha oscilado entre 90 kPa y los 120 kPa desde que se instaló. Estos valores no coinciden con los 190 kPa recomendados en la carta del fabricante.

Estos resultados coinciden, igualmente, con Cueto (2011), Machado (2012) y Treyes (2013), quienes detectaron el mismo problema. Los que, a su vez, se corresponden con otras evaluaciones realizadas por la dirección de riego de la Empresa Agropecuaria “Valle

del Yabú”. Dichas evaluaciones no solo se realizaron en la máquina objeto de estudio sino en otras máquinas de la empresa.

Por otra parte, la máquina aplicó una media ponderada de 12,936 mm, para una lámina requerida según el regador de 19,64 mm. Esto representa un 34,13% menos de agua aplicada.

Por tanto, al analizar este resultado es posible inferir que como al área regada no llegó el agua demandada, pueden ocasionarse además de las pérdidas agrícolas, pérdidas en energía. Dichas pérdidas se deberán a que cuando se compruebe la humedad presente en el suelo como parte del balance hídrico, arrojará la necesidad de volver a regar.

Si se compara este resultado con los obtenidos por (Machado, 2012) y (Treyes, 2013), se detecta que la mayor diferencia entre la lámina requerida y la media ponderada es la resultante de esta investigación. Lo que se puede comprobar a través del análisis de la figura 3.8.

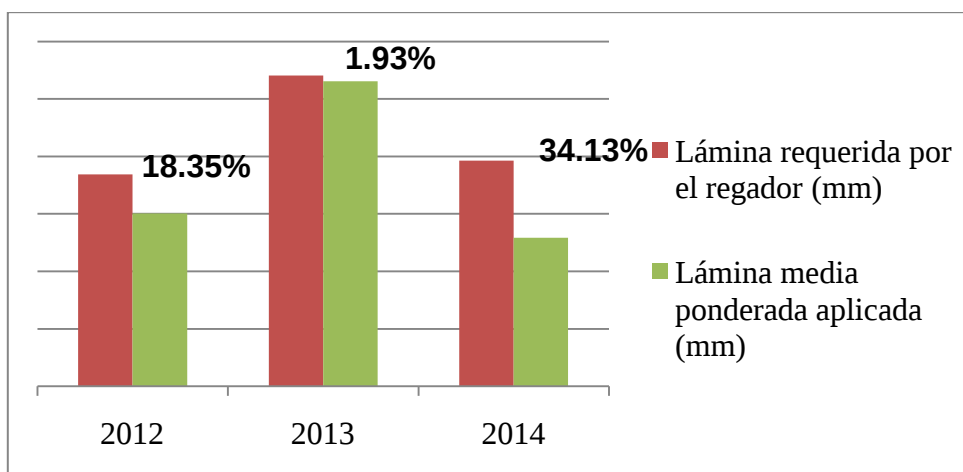


Figura 3.8 Diferencia entre la lámina requerida por el regador y la lámina media ponderada aplicada.

En cuanto a la revisión realizada a la conductora que abastece esta máquina, hay que

destacar que no se detectó la presencia de salideros. Mientras a lo referido a la estación de bombeo, se constató a través de los cálculos que esta máquina requiere de un caudal de 23,45 l/s; que la bomba debe imprimir una potencia de 28 kW y vencer una carga de 77,2 m. Para esto el motor eléctrico de la bomba debe tener una potencia de 32,2 kW.

No obstante, al contrastar estos datos con los referidos en el manual de la bomba instalada se observa que satisface las demandas del caudal y carga al ser capaz de entregar 60 l/s a una altura manométrica de 85 m. Esto no sucede igual con la potencia por entregar nada más un valor de 18,5 kW. Factor que constituye la causa de que en la máquina no se alcance la potencia de trabajo. Lo que afecta así los demás parámetros de calidad del riego.

En resumen, los factores que inciden en el consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctrica en la UBPC-3 “Jesús Menéndez” de la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú” son el no cumplimiento de lo requerido en la programación del riego según el balance hídrico diario y los bajos porcentos de uniformidad de distribución del agua. En este último factor van a incidir de forma directa la presión de trabajo de la máquina y la incorrecta distribución de la carta de aspersión. Lo que implica, a su vez, un uso ineficiente de los recursos agua y energía.

3.4. Análisis económico

El comportamiento del factor K durante la campaña de papa transcurre como se ilustra en la tabla 3.10.

Tabla 3.10 Comportamiento del factor K, campaña 2013-2014

Factor K	
Diciembre	5,6472
Enero	6,1185
Febrero	6,1708
Marzo	6,1971

En esta campaña, la totalidad de los riegos se efectuaron durante el día. Por ello, para este análisis solo se consideró la tarifa correspondiente a este horario. Estos resultados se muestran en la tabla 3.11.

Tabla 3.11 Costo del consumo energético para la campaña 2013-2014

Mes	Energía consumida por el sistema (kWh)	Costo (\$)
Diciembre	1 178,78	395,40
Enero	1 334,01	477,71
Febrero	3 696,83	1 333,13
Marzo	2 829,27	1 023,86
Total	9 039,05	3 230,10

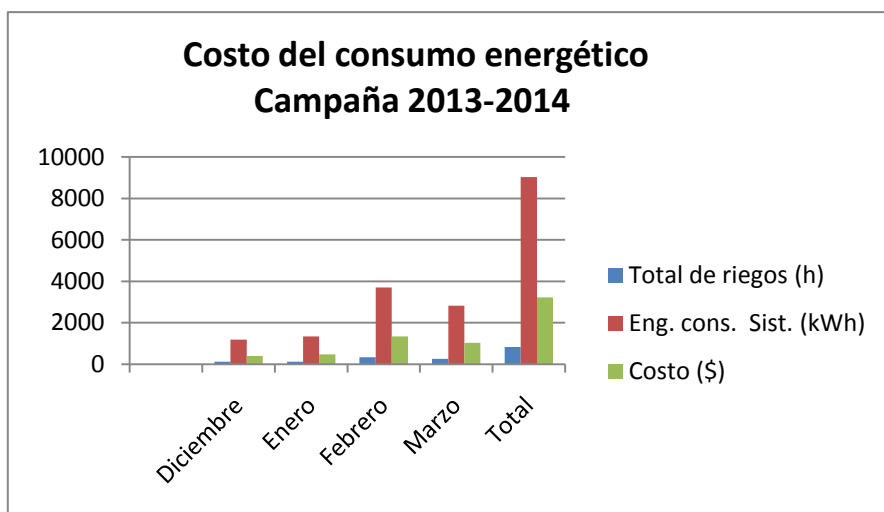


Figura 3.9 Costo energético de la actividad de riego

En la figura anterior se muestra una comparación de los costos del consumo energético de la actividad de riego diferenciado por meses. En esta se destaca que el mes de mayor cantidad de riegos fue febrero, por lo que constituye el período de mayor consumo energético y costos.

A este análisis económico debe sumarse el análisis del costo del agua utilizada en la campaña. En tal sentido, en la campaña analizada se utilizaron un total de 70 608,72 m³ de agua.

Si se calcula esta cantidad por el costo de agua por metro cúbico (\$ 0,03), según lo establecido por el Ministerio de Finanzas y Precios, se obtiene un costo de \$ 2 118,26. La suma de este costo con el del consumo energético (Tabla 3.11); representan el 3,81% del costo total del cultivo en la campaña (Tabla 3.12).

Estos costos son relativamente bajos, comparándolos con el coste del paquete tecnológico (semilla, fertilizantes y plaguicidas) del cultivo de la papa. No obstante, estos costos superan los valores alcanzados en otros cultivos.

Tabla 3.12 Costo del cultivo de papa para la campaña 2013-2014 en la UBPC-3 “Jesús Menéndez”

Denominación de los índices	Costo (\$)
Semillas y posturas	35 020,04
Fertilizantes	3 377,01
Plaguicidas	8 543,54
Combustibles	2 226,06
Energía	3 230,10
Agua	2 118,26
Anticipos	21 067,15
Salario complementario	1 915,00

Seguridad social	2 872,78
Servicios productivos comprados	8 470,41
Otros gastos monetarios	2 330,00
Saldo inicial producción. proceso	49 016,09
Traspaso	24,579
Total	140 211,02

Si se analiza que en esta campaña se efectuaron tres riegos no acorde con lo planificado en el balance (Tabla 3.8); se puede afirmar entonces que en la UBPC-3 “Jesús Menéndez” se incurrió en gastos adicionales. Estos riegos fueron efectuados todos en el mes de Febrero en los días 8; 25 y 27.

El del día ocho, la máquina se reguló al 8%. Este riego se efectuó de forma adelantada y coincidió con las precipitaciones que se sucedieron el día 13, fecha de culminación de este riego. Esta situación provocó sobresaturación, lo que supone que si se hubiese esperado para efectuar el riego en la fecha correspondiente, no hubiese sido necesario efectuarlo.

Mientras que los aplicados con la máquina regulada al 30% con láminas pequeñas los días 25 y 27, son igualmente considerados como inadecuados teniendo en cuenta el balance agrometeorológico. Estos riegos fueron aplicados por indicaciones de la dirección de la UBPC con el objetivo de fijar una mezcla de fungicidas Ridomil + Maucozeb para el control de enfermedades fungosas. Se consideran innecesarios porque que podían realizarse como parte tanto del riego anterior como del posterior a ellos, según indicara el balance agrometeorológico.

Por tanto, en estos riegos se consumieron de forma innecesaria 791,5 m³ de agua y 1 376,33 kWh de energía. Lo que representan un costo adicional por concepto de consumo energético 496,33 \$ y 23,75 \$ en consumo de agua, para un total de 520,08 \$. Este valor

representa 9,72% del costo total de estos dos índices en la campaña. Lo que supone que tan solo por aplicar los riegos siguiendo la programación que se indicara en el balance la UBPC se hubiese podido engrosar este dinero como utilidades del cultivo de la papa.

Un tanto similar ocurre con las afectaciones que trae consigo el hecho de que la máquina presente bajos CU. Como ya se expresó con anterioridad esta cuestión provocó que se aplicara un total de 16 169,40 m³ más de agua de lo requerido, incurriendo a su vez en consumo adicional de energía ascendente a los 2 069,94 kWh.

Si se aplican las mismas tarifas de precio se obtienen un valor total ascendente a los 1 217,85 \$; de los cuales corresponden 732,77 \$ por el consumo energético y 485,08 \$ por el consumo adicional de agua. Si se aplica el mismo análisis se distingue que este valor representa el 22,77% del costo total de estos dos índices en la campaña. De manera que la sumatoria del monto total de ambos gastos se concluye que en la UBPC-3 se pudo ahorrar un total de 1 737,93 \$, lo que representa una disminución del costo total en un 1,24%.

Por otro lado, solo el hecho de trasladar los riegos al horario de la madrugada significaría una disminución en el costo de la energía consumida del 45,34%, ahorrando un valor de 1 765,27 \$. Estos valores de forma aislada son pequeños pero si se analizaran todas estas cuestiones para la totalidad de los cultivos durante un año; presuponiendo que se realizara de manera paralela en todas las áreas de la empresa, implicaría un gran potencial de ahorro en esta actividad.

3.5. Plan de medidas para la disminución del consumo energético de las máquinas de pivote central eléctrica de la UBPC-3 “Jesús Menéndez”

3.5.1. Organización de la información obtenida en el diagnóstico del consumo

Los resultados anteriores conforman la información fundamental del diagnóstico, en el que se basa el diseño del presente plan de medidas. Ellos, fundamentalmente, arrojaron un alto consumo energético de la actividad de riego en la UBPC-3 “Jesús Menéndez” perteneciente a la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”. Lo que implica una afectación en el rendimiento económico de la organización, y a más largo plazo, incurre en afectaciones al medio ambiente.

Estos resultados demuestran, además, como principales causas del alto consumo energético el inadecuado funcionamiento de la máquina y la no ejecución del riego teniendo en cuenta lo planificado en la programación de riego, fundamentalmente. Estas causas constituyen las principales problemáticas desde las cuales se orientará la presente estrategia.

Es pertinente acotar que aunque esta investigación se basa en la situación diagnosticada en la UBPC-3 “Jesús Menéndez”, su intención es proveer de una base metodológica para disminuir el consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central en la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”. Estos resultados se pudieran generalizar al resto de las máquinas de riego de la empresa, realizando las distinciones pertinentes. Para ello se pudieran extender las medidas previstas a todos los trabajadores que laboran en el área de riego de dicha empresa.

A partir de este diagnóstico se estructuran los objetivos, los colectivos de agentes hacia los que se dirigen y las líneas o propuestas de actuación. Para ello, se distribuyen los recursos disponibles, se identifica el papel que deben desempeñar los colectivos afectados y los

posibles interlocutores. Además se prevé una manera para evaluar la eficiencia del plan de medidas como herramienta para la disminución del consumo energético.

3.5.2. Establecimiento de los objetivos dirigidos a minimizar la demanda energética

La información obtenida en la fase diagnóstica permitió definir los objetivos del presente plan de medidas.

Objetivo Estratégico: Disminuir el consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctricas en la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”.

Objetivos Específicos:

- Mantener un adecuado estado técnico de las máquinas.
- Evaluar los criterios que se siguen en la entidad para aplicar los riegos.
- Mantener el adecuado funcionamiento de las estaciones de bombeo.
- Capacitar a los colectivos agentes implicados en la actividad de riego de la entidad.

3.5.3. Identificación de los colectivos agentes a los que se dirigen

Como la finalidad última de la herramienta propuesta consiste en la disminución del consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central, es necesario implicar a colectivos agentes que garanticen el cumplimiento de este objetivo. Sobre todo, porque serán dichos colectivos los encargados de poner en práctica las acciones planificadas en la estrategia.

Por ello, se definen como colectivos agentes de la UBPC-3 “Jesús Menéndez” los siguientes:

Presidente

Energético

Encargado de la actividad de riego

Jefe de producción

Fitosanitario

Operadores de la máquina

Además de estos colectivos agentes vinculados a la UBPC se propone incluir a la UEB Integral de Servicios Técnicos.

En cultivos estratégicos para la empresa se hace necesario involucrar también a los especialistas de riego, jefe de producción y fitosanitarios de la empresa, pues la producción de dichos cultivos son monitoreados por la dirección de la entidad. En este caso, se hace referencia a cultivos como la papa, por citar solo un ejemplo.

3.5.4. Identificación de los posibles interlocutores

En este caso, se propone involucrar como posibles interlocutores a los Departamentos de Agronomía e Ingeniería Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Estos interlocutores estarían encargados de acciones de capacitación e investigación respecto a las principales problemáticas detectadas en esta investigación o en otras realizadas.

Igualmente, se prevé como interlocutores a los especialistas de la UEB Integral de Servicios Técnicos y al responsable de suministros, pertenecientes a la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”. Dichos interlocutores constituyen actores principales en la toma de decisiones. Además son especialistas en riego y técnicos capacitados para controlar el estado de las máquinas y ejercer su adecuado mantenimiento. Mientras que el encargado de suministros

apoya con la compra de los medios y equipos necesarios para el mantenimiento de las máquinas.

3.5.5. Líneas o propuestas de actuación

A continuación se presentan las líneas o propuestas de actuación para disminuir el consumo energético de la actividad de riego. Asimismo se incluyen los recursos disponibles para realizarlas y el papel que deben jugar tanto los colectivos agentes a los que va dirigida como los posibles interlocutores

No	Objetivos	Líneas de acción	Recursos disponibles y/o necesarios	Papel de los colectivos	Papel de los interlocutores
1	Desarrollar habilidades en el manejo del riego utilizando una programación adecuada basada en las diferentes metodologías para realizarla	Realizar acciones de capacitación referida al manejo del riego a partir de seminarios, actividades prácticas y talleres	Recursos humanos (profesionales encargados de las acciones de capacitación), Recursos logísticos (Local, equipos de proyección, ordenador,)	Garantizar la participación activa de los implicados en la actividad del riego. Garantizar los recursos logísticos necesarios para la ejecución de la acción	Los profesores de los Departamentos de Agronomía e Ingeniería Agrícola serán los encargados de impartir la capacitación
2	Conocer los datos de la estación agrometeorológica para el empleo en los balances agrometeorológico	Visitas a la Estación Agrometeorológica (porque esta no emite un parte agrometeorológico, que constituye la medida ideal.)	Recursos Humanos (implicados en la actividad de riego de la empresa)	Recogida de los datos en la estación para confeccionar el balance agrometeorológico. Emplear los datos en la confección del balance agrometeorológico.	_____
3	Conocer los parámetros de densidad aparente y la capacidad de campo u otros necesarios para la confección del balance agrometeorológico	Caracterizar el suelo del área regada por la máquina de pivote central	Recursos humanos (especialistas de riego de la empresa) Recursos tecnológicos (laboratorios del Centro de Investigaciones Agropecuarias-CIAP)	Especialistas de riego para la recogida de muestras	Profesores de Agronomía e Ingeniería Agrícola y técnicos del CIAP para el procesamiento y análisis de las muestras recogidas

4	Confeccionar una guía técnica que tenga en cuenta las características específicas de la máquina, del suelo y de los principales cultivos que se desarrollan en la UBPC tradicionalmente	Elaborar Instructivo Técnico de riego	Recursos Humanos (directivos de la UBPC-3 “Jesús Menéndez”) Información disponible en los informes y planes de producción	Recopilación de información referida a las características de la máquina, del suelo y de los principales cultivos	Los profesores de los Departamentos de Agronomía e Ingeniería Agrícola estarían encargados de la confección del Instructivo Técnico
5	Disminuir los riegos a partir del aprovechamiento del fertiriego	Armonizar la aplicación de productos químicos o biológicos con los riegos planificados en la programación de riego.	Bombas de fertiriego Tanques dosificadores	Monitoreo de la aplicación conjunta de estas acciones por parte del fitosanitario y el encargado de riego	_____
6	Determinar las precipitaciones efectivas para los cultivos	Instalar pluviómetro en el centro del pivote	Pluviómetro	Confección del pluviómetro en el taller de riego Instalación del pluviómetro por parte de los técnicos del taller de riego y el encargado de riego de la UBPC-3 Llevar el registro de las precipitaciones por parte del operador de la máquina	Diseño y confección del pluviómetro por parte de los especialistas de la UEB Integral de Servicios Técnicos (IST)
7	Disminuir el costo de la energía eléctrica	Concebir la mayor parte de los riegos en horario nocturno	Recursos Humanos (operador de la máquina)	Programar los riegos en el horario determinado (operador de la máquina)	_____
8	Efectuar una programación de riego efectiva	Implementar un sistema de asesoramiento al regante	Recursos Humanos (especialistas de riego de la UEB “IST”) Tensiómetros Barrena agrológica, pesafiltros, balanza analítica y estufa	Recogida de datos en la estación agrometeorológica y de los registros de precipitaciones por parte de los especialistas de riego de la UEB “IST” Determinación de la humedad presente en el suelo, utilizando cualquiera de los	Recogida y monitoreo de los datos en la estación agrometeorológica por parte de los especialistas de riego de la UEB “IST” Asesoría a los regantes por parte de los mismos especialistas de dicha UEB.

				métodos escogidos	
				Confección del balance hídrico para la programación del riego	
9	Controlar el estado técnico de la máquina	Implementar evaluaciones pluviométricas antes de cada campaña	Pluviómetros Probeta graduada Software Pluviopivote Ordenador Recursos Humanos (especialistas de “IST”)	Realizar las evaluaciones pluviométricas necesarias antes del inicio de la campaña (los encargados son los especialistas de “IST”)	Realizar las evaluaciones pluviométricas (especialistas de la UEB “IST”)
10	Controlar el estado técnico de la máquina	Completar la carta de aspersión de la máquina a partir de su chequeo constante	Piezas de repuesto necesarias (aspersores) Recursos Humanos (especialistas de la UEB “IST”, responsable de suministros de la empresa)	Chequeo y recambio de las piezas (especialistas de la UEB “IST”)	Compra y gestión de las piezas de repuesto (responsable de suministro de la empresa)
11	Controlar el estado técnico de la máquina	Implementar un sistema adecuado de mantenimiento y reparación de la máquina de riego	Aceites de transmisión Grasas Herramientas Recursos Humanos (ponchero, electricista, mecánico)	Levantamiento de las necesidades de mantenimiento (encargado de riego de la UBPC y/o especialistas de riego de la “IST”) Acciones de mantenimiento de la máquina (ponchero, electricista, mecánico)	Levantamiento de las necesidades de mantenimiento (especialistas de riego de la “IST”) Monitoreo de las acciones de mantenimiento (especialistas “IST”) Suministros de los aceites, grasas y herramientas (encargados de suministros)
12	Controlar el estado técnico de la máquina	Intercambiar el sentido de giro de la máquina cada 2	Recursos Humanos (encargado de	Chequeo del cumplimiento de la acción de	Monitoreo del cumplimiento de la acción en la

		campañas	riego y operador de la máquina de la UBPC)	intercambio a partir de un registro de control (encargado de riego y operador de la máquina de la UBPC)	UBPC-3 (especialistas de “IST”)
13	Controlar el estado técnico de la máquina	Elevar los aspersores en cultivos de porte alto	Recursos Humanos (encargado de riego y operador de la máquina de la UBPC) Herramientas	Ejecución de la acción prevista (encargado de riego y operador de la máquina de la UBPC)	_____
14	Controlar el estado técnico de la máquina	Rellenar las huellas de la máquina donde existe posibilidades de atascamiento	Recursos Humanos (encargado de riego y operador de la máquina de la UBPC) Madera Piedras Medios de transporte para los materiales	Ejecutar la acción prevista (encargado de riego y operador de la máquina de la UBPC)	_____
15	Controlar el estado técnico de la máquina y la estación de bombeo	Limpiar el canal de abastecimiento al y el regulador donde está instalada la estación de bombeo	Draga (de poder contratarse la draga, se puede ejecutar la acción con la retroexcavadora de la UEB “IST”)	_____	Realizar contrato con la empresa de desmonte (directivos de la UEB “IST”)
16	Controlar el estado técnico de la estación de bombeo	Implementar un sistema adecuado de mantenimiento y reparación de la estación de bombeo	Aceites de transmisión Grasas Herramientas Recursos Humanos (electricista, mecánico)	Levantamiento de las necesidades de mantenimiento (encargado de riego de la UBPC y/o especialistas de riego de la “IST”) Acciones de mantenimiento de la estación de bombeo (electricista, mecánico)	Levantamiento de las necesidades de mantenimiento (especialistas de riego de la “IST”) Monitoreo de las acciones de mantenimiento (especialistas “IST”) Suministros de los aceites, grasas y herramientas (encargados de suministros)

17	Mejorar el aprovechamiento de las aguas de riego Proteger el suelo	Sembrar los cultivos siguiendo las curvas de nivel	Se utilizarán los mismos recursos que se emplean para la siembra tradicional de cultivos	Indicaciones a los operadores de la maquinaria agrícola de ejecutar esta acción (directivos de la UBPC) Controlar el cumplimiento de la acción (directivos de la UBPC)	Indicaciones a los operadores de la maquinaria agrícola de ejecutar la tarea (directivos de la UEB “IST”)
18	Controlar el estado técnico de la estación de bombeo	Adecuar las estaciones de bombeo a las necesidades de la máquina	Bomba Motor eléctrico	Se identificará cuál es la motobomba necesaria para la máquina de riego (especialistas UEB “IST”) Cambio de la motobomba (mecánicos y electricistas de UEB “IST”)	Compra de la motobomba (encargado de suministros de la empresa)

La tabla contiene las principales medidas previstas para disminuir el consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central en la UBPC-3 “Jesús Menéndez” perteneciente a la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”. Dichas medidas pudieran generalizarse al resto de la empresa si a partir de la realización de un diagnóstico previo, este arrojara similares resultados a los obtenidos en la UBPC objeto de estudio.

Específicamente, la acción de capacitación estará orientada a concientizar y desarrollar habilidades en el manejo del riego a través de una programación adecuada basada en las diferentes metodologías de actuación en este fin. O sea, se pretende desarrollar un programa interno de asesoramiento al regante por parte de la empresa.

Para ello se propone que las diferentes unidades basen su programación de riego a partir de un balance hídrico, basándose en los datos emitidos por la estación agrometeorológica. Y para determinar el estado hídrico del suelo se basen en el empleo de los tensiómetros, instrumentos estos existentes en la UEB Integral de Servicios Técnicos.

El empleo de dichos instrumentos resulta de fácil comprensión e instalación, y su eficacia ha sido probada en los trabajos de autores ya citados como (Cueto, 2011); (Machado, 2012); (Treyes, 2013) y (Arguelles, 2014). Dichos trabajos corroboraron los datos obtenidos por parte de los tensiómetros, con los obtenidos a partir de muestra gravimétricas empleadas para el manejo de sus respectivos balances hídricos. La instalación de dichos tensiómetros se propone que se efectúe a partir de los segundos tramos de las máquinas porque se ha comprobado que, en su mayoría, ellas aplican una mayor pluviometría en el primer tramo.

Se plantea además que la PR no solo se maneje para el cultivo de la papa sino que se extienda a todos los cultivos desarrollados en la empresa. A su vez, para lograr este fin es necesario también de la instalación de pluviómetros en cada máquina de riego para poder registrar las precipitaciones efectivas y lograr así un aprovechamiento óptimo.

En cuanto a estaciones de bombeo, acotar que en aquellas donde exista un sobredimensionamiento de los equipos instalados es necesaria su sustitución por los que se ajusten mejor a las demandas de las máquinas para las que trabajan. Sin dudas, es una medida que elevará la eficiencia a partir de la disminución del consumo de energía. No obstante, debe ejecutarse teniendo en cuenta las posibilidades de la empresa.

Se requiere, además, que la empresa trace un programa de mejoramiento de canales, conductoras y reguladores. Esto incidiría en la mejora del abasto de agua a las diferentes unidades, aumentando la eficiencia de conducción en ellas y, por tanto, el mejor aprovechamiento de los recursos agua y energía.

3.5.6. Evaluación del impacto del plan de medidas

Se propone para la evaluación de la eficiencia e impacto del plan de medidas involucrar al energético y a los especialistas de la UEB “IST”. Dichos especialistas estarán encargados de llevar un programa de monitoreo del consumo energético de esta unidad durante una campaña. Luego de realizada dicha evaluación, estos especialistas pudieran concluir sobre la factibilidad de extenderla hacia el resto de las unidades de la empresa.

A este programa de monitoreo pudieran vincularse, igualmente, estudiantes de las carreras de Agronomía e Ingeniería Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Estos estudiantes ejecutarían investigaciones que tributarán al diagnóstico del efecto de las acciones en la disminución del consumo energético.

Conclusiones parciales:

- La demanda energética del sistema es alta con un valor de 9 039,05 kWh.
- Los factores que inciden en el consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctrico en la UBPC-3 “Jesús Menéndez” son el inadecuado manejo de la actividad de riego y los bajos coeficientes de uniformidad.
- El inadecuado manejo del riego se debe a la violación de la programación de riego por aplicar riegos adelantados e insuficientes.
- El bajo valor del coeficiente de uniformidad se debe, esencialmente, al no cumplimiento de las indicaciones propuestas por la carta técnica de la máquina en la instalación de la carta de aspersión y a la no satisfacción por parte de la bomba de las demandas de la máquina de riego.

- Los resultados de la demanda energética del sistema y los factores que inciden en el incremento del consumo energético de la actividad de riego permiten organizar la información obtenida en el diagnóstico de la situación para elaborar el plan de medidas.
- El plan de medidas propuesto concibe una serie de líneas de actuación, asequibles a los recursos y condiciones de la empresa.
- La implementación de este plan de medidas pudiera influir en una mayor eficiencia y rendimiento de las producciones de la empresa.
- En la UBPC-3 “Jesús Menéndez” se pueden disminuir los costos de agua y energía de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctricas en un 56,3%.

Conclusiones

CONCLUSIONES

Luego de la realización de esta investigación se puede arribar a las siguientes conclusiones:

- El 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” es elevado con un valor de 9 039,05 kWh.
- Los factores que inciden en el 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” son el inadecuado manejo de la actividad de riego y el bajo coeficiente de uniformidad.
- El costo económico total de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctricas de la UBPC-3 “Jesús Menéndez” en la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú” fue de \$5 348,3, los que pueden disminuirse en un 56,3%.
- El diagnóstico del consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctrico y la determinación de los factores que lo incrementan permitió elaborar un plan de medidas que favorecerá la disminución del consumo energético de la actividad de riego con la máquina de pivote central eléctrica de la UBPC-3 “Jesús Menéndez” en la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”. Por tanto, se cumple la hipótesis de investigación.

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

- Ampliar el alcance de esta investigación al resto de las unidades de la empresa.
- Implementar el plan de medidas propuesto para la disminución del consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctrica.
- Evaluar el impacto del plan de medidas para la disminución del consumo energético de la actividad de riego con máquinas de pivote central eléctrica.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- AIDÁROV, I. P.; A. I. GOLOVÁNOV y M. G. MAMÁEV: *El Riego*, Ed. Editorial Mir, Moscú, 1985.
- ALEMÁN, C.: CALIDAD DEL RIEGO Y EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA EN LOS PIVOTES CENTRALES. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*. La Habana, pp. 2001.
- ALFARO, A.: "Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura", *Ahorro y eficiencia energética en la agricultura de regadío*, pp 143-154, Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2005.
- AMADOR, E.: *Electrotecnia Básica*, Ed. Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, 1987.
- ARGUELLES, R.: *Incidencia de la programación de riego para el ahorro de agua, energía eléctrica y los rendimientos del cultivo de la papa en la UBPC-3,* "Jesús Menéndez", Departamento de Agronomía, Universidad Central "MARTA ABREU" de las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2014.
- ASAJA, A. A. D. J. A. *El incremento en las tarifas eléctricas asfixia a los agricultores de regadío y amenaza la continuidad de 50. 000 explotaciones que generan 128.000 empleos en Andalucía [en línea] Disponible en: http://www.asaja.com/publicaciones/el_incremento_en_las_tarifas_electricas_asfixia_a_los_agricultores_de_regadio_y_amenaza_la_continuidad_de_50_000_explotacion [Consulta: Noviembre 2013].*
- BAÑOS, J. L.: *La actividad de riego: imprescindible para elevar la producción [en línea]. vol. no. Disponible en: <http://www.monografias.com/> [Consulta: mayo 2013].*
- CAMACHO, P. E.; A. RODRÍGUEZ; P. MONTESINOS y T. CARRILLO: *Ahorro de Energía en el Riego*, Catedra de Hidráulica y Riegos, ETSIAM, Universidad de Córdoba, España, 2010.
- CÉSAR-DE-LIMA, A.; S. CAMARGO-GUIÑARES-JR; C. R. FIETZ y J. R. CAMACHO: "Energetic Flow and Efficiency Indicators in Center Pivot Irrigation", *Agrociencia*, (42): 2008.
- CNE, C. N. D. L. E. *Política de gestión sostenible del agua y la energía en sistemas agropecuarios [en línea] Disponible en: <http://www.economiaandaluza.es/sites/default/files/cap236.pdf> [Consulta: Septiembre 2014].*
- CUETO, Y.: *Programación del riego de la papa (Solanum tuberosum Sw.) con máquinas de pivote central, en la Empresa Cultivos Varios "Valle del Yabú"*, 63pp., Trabajo de Diploma, Agronomía, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, 2011.
- CHRISTIANSEN, J. E.: *Irrigation by Srinkling*, Ed. University of California. Agricultural Experimental Station, Berkeley, California., 1942.
- DEL CAMPO, A.: Las CC. RR. y la modernización: características, problemáticas, retos y futuro. Memorias de, 9 de Abril de 2013 2013, pp. 29, Auditorio CalxaForum, Madrid. Madrid: Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España (FENACORE), 2013.

- DUARTE, L. S.; L. E. CAMEJO y J. M. MOREJÓN: *Organización de la explotación del riego para el ahorro de agua y energía en máquinas de pivote central en el cultivo de la papa en la Empresa de Cultivos Varios La Cuba*. Ciego de Avila: Universidad de Ciego de Avila, pp. 2006.
- FACI, J. y A. BERCERO: "Desarrollo de coeficiente de uniformidad ponderados con la superficie en evaluaciones de riego de ramales autotrasportados giratorios (pivotes)", *Produccion y Proteccion Vegetal*, 5(1): 103-113, 1990.
- FACI, J. y J. CASTEL: Evaluacion y mejora de sistemas de riego. Memorias de, 1982, pp., INIA Córdoba. 1982.
- FAO: 2013.
- FERREYRA, R.; P. GIL y G. SELLES: Uso del agua de riego y ahorro de energía eléctrica. *Redagráfica*. Chile, pp. 48-49. 2010.
- GONZÁLEZ, P.: *Mejoramiento del uso y explotación de los difusores de baja presión y bajantes, en las maquinas de riego por aspersión*, Informe Final, IIRD Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje. La Habana 2006.
- GONZÁLEZ, P. y M. A. MÉNEDEZ: *Panorama del riego y drenaje en Cuba [en línea]*. vol. no. Disponible en: <http://www.redalyc.org/> [Consulta: Septiembre 2013].
- HAMIL, C.: *Pivote Central [en línea]*. vol. no. Disponible en: <http://oxfammexico.org> [Consulta: Mayo 2013].
- HEERMANN, D. F. y P. R. HEIN: *Performance characteristics of self-propelled center pivot sprinkler irrigation system*, Ed. ASAE, USA, 1968.
- HERNÁNDEZ, A.; M. O. ASCANIO; M. MORALES y A. LEÓN: *La historia de la clasificación de los suelos en Cuba*, Ed. Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba, 2006.
- HERNÁNDEZ, J. I.: *Estudio del modelo energético de autoconsumo con balance neto para el riego agrícola mediante energía fotovoltaica*, Master investigación en ingeniería para el desarrollo agroforestal, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agrarias, Universidad de Valladolid, Valladolid, 2012a.
- : *Estudio del modelo energético de autoconsumo con balance neto para el riego agrícola mediante energía fotovoltaica*, Tesis (en opción al título de Máster en Ingeniería para el desarrollo agroforestal), Universidad de Valladolid, España, 2012b.
- LÓPEZ, M.; A. MUJICA; M. BROWN y L. CASTELLANO: Evaluación del consumo energético de las máquinas de pivotes centrales eléctricas en la empresa cultivos varios la Cuba provincia Ciego de Ávila. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. La Habana, pp. 2012.
- MACHADO, Y.: *Determinación de la calidad del riego con máquina de pivote central en la UBPC 3 de la Empresa Agropecuaria "Valle del Yabú"*, Tesis para aspirar al título de Ingeniero Agrónomo, Departamento de Agronomía Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas Facultad de Ciencias Agropecuarias 2012.
- MARTÍNEZ, A. y J. M. TARJUELO. *Aspectos básicos para el diseño del riego por aspersión en parcela [en línea]* Mayo 2006. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/gestion-sostenible-de-regadios/apartado4-10_tcm7-9780.pdf [Consulta: Mayo 2006].

- MASKEY, R.; A. LAVIS y A. QASSIM: *Center Pivots-Capital and Operating Cost Trade-off*, Department of primary industriars, Victoria, Australia, 2007.
- MERRIAN, J. L. y J. KELLER: *Farm irrigation systems evaluation*, Ed. Utah. State University, USA, 1978.
- MERRIAN, J. L.; M. N. SHARE y C. M. BURT: *Evaluating irrigation systems and Practice*, Ed. ASAE, Michigan.USA., 1980.
- MESA, R. y Y. VALDÉS: *Un nuevo enfoque para la evaluacion integral de la calida de riego de los pivotes.*, Trabajo de Diploma, Facultad de Ingeniería Civil. Centro de Investigaciones Hidráulicas, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría 2006.
- MONTERO, J.; F. ORTEGA; T. HONRUBIA; J. ORTIZ y M. VALIENTE: *Recomendaciones para un adecuado diseño y manejo de los sistemas de riego por aspersión*, Centro regional de Estudios del Agua, Instituto de Desarrollo Regional, Universidad de Castilla, España, 2005.
- MOREIRA, H. *Sistema de suporte à decisão agrícola [en línea] febrero, 2014. Disponible en: [http:// www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/anais2.pdf](http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/anais2.pdf). [Consulta: marzo 4 2014].*
- NC: 115:45. *Máquinas agrícolas para riego - pivotes centrales y máquinas de avance frontal equipadas con boquillas difusoras o aspersores - determinación de la uniformidad de distribución del agua.* pp. 2005.
- PACHECO, J.; N. ALONSO; P. PUJOL y E. CAMEJO: *Riego y Drenaje*, Ed. Pueblo y Educación Primera Edición ed, La Habana, 1995.
- PACHECO, J. y G. GALVEZ: Evaluacion pluviometrica con ponderacion de las areas con maquinas de riego pivote central. En: Conferencia Internacional sobre el Desarrollo Agropecuario y Sostenibilidad, pp., Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. FCA. Villa Clara. 2003.
- PACHECO, J. y Y. PACHECO: "Aplicación de software para calcular coeficientes de uniformidad ponderados por superficie en máquinas de riego de pivote central", *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 1(2): 2004.
- PÉREZ, J. R.: *Un manual de practica laboral de riego y drenajes para estudiantes de 4to año agronomia*, Tesis presentada en opción al Título de M.Sc. en Riego y Drenaje, ISCAH, La Habana, 1998.
- PÉREZ, R.; E. R. JIMÉNEZ; M. DOMÍNGUEZ; L. MONTERO y R. CUN: "Costos de operación en los sistemas de riego mecanizado de pivote central", *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, 30(3): 2009.
- REQUENA, A. y R. MARTÍNEZ: El riego con grandes máquinas. *Fruticultura y Diversificación*:. pp. 23-29. 2010.
- ROCAMORA, M. C.; R. ABADÍA; J. M. CÁMARA; A. MELIÁN; H. PUERTO y A. RUIZ: *Eficiencia energética en regadío: Auditorías Energéticas en Comunidades de Regantes [en línea]. vol. no. Disponible en: <http://www.fundamin.com.ar/> [Consulta: junio 2013].*
- SOMS, E. *Elaboración de estrategias y planes regionales [en línea] Septiembre, 2014. Disponible en: http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/admin/docdescargas/centrodoc/centrodoc_81.pdf [Consulta: Septiembre 2014].*
- TARJUELO, J. M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, Ed. Ediciones Mundial-Prensa, 2005.

- TREYES, A.: *Influencia de la baja uniformidad de riego con máquina de pivote central sobre el rendimiento de la papa (Solanum tuberosum L.)*, Tesis para aspirar al título de Ingeniero Agrónomo, Departamento de Agronomía, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2013.
- WALDIR, A.: "Eficiencia económica do manejo racional da irrigação em tomateiro para processamento industrial", *Hortic. bras.*, 18: 2000.

Anexos

Anexo 1. Orden de las boquillas en la máquina de riego.

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

Huella (12-0)	18	Huella 27	Huella (30-28)
---------------	----	-----------	----------------

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

UBPC 3 “Jesús Menéndez”	Campo 30
Máquina de pivote central eléctrica marca Western.	Área 14,16 ha
Longitud de la máquina 237 m	→ 1 tramo de 61,,2 m
Presión del sistema 190 000,0 Pa	1 tramo de 60,6 m
Flujo total del sistema 1 407,0 Lpm (23.45 L/s)	2 tramos de 54,4 m
	1 voladizo de 6,4m

Aplicación de agua en (mm)	Configuración del cronometro (%)	Velocidad de la última torre (m/min)	Tiempo por rpm (horas)
3,68	100	3,05	7,45
4,09	90	2,74	8,83
4,60	80	2,44	9,94
5,26	70	2,13	11,36
5,67	65	1,98	12,23
6,14	60	1,83	13,25
6,70	55	1,68	14,45
7,37	50	1,52	15,90
8,19	45	1,37	17,67
9,21	40	1,22	19,87
1,53	35	1,07	22,71
12,28	30	0,91	26,50
14,74	25	0,76	31,80
18,42	20	0,61	39,75
24,56	15	0,46	53,0
30,70	12	0,37	66,24
40,93	9	0,27	88,33

61,40	6	0,18	132,49
122,80	3	0,09	264,98

Anexo 4. Hoja de cálculo EXCEL codificada para el análisis del promedio, del consumo energético del sistema para una hora en cada una de las regulaciones de la máquina

Regulac	fase	amper	Regulac	regula	amp	kw	energ	Hora	consumo unit
1	1	5,8	1	1	3,6	1,94793362	1,94793362	1	1,94793362
1	1	5,6	1	1	3,4	1,83971509	3,67943017	2	1,73149655
1	1	5,9	1	1	3,76666667	2,03811573	6,1143472	3	2,43491703
1	1	5,8	1	1	3,63333333	1,96597004	7,86388017	4	1,74953297
1	1	5,7	1	1	3,56666667	1,9298972	9,64948599	5	1,78560582
1	1	5,9	1	1	3,6	1,94793362	11,6876017	6	2,03811573
2	2	1,7	1	2	5,7	3,08422823	3,08422823	1	3,08422823
2	2	1,5	1	2	5,83333333	3,15637392	6,31274784	2	3,22851961
2	2	1,9	1	2	5,83333333	3,15637392	9,46912176	3	3,15637392
2	2	1,7	1	2	5,6	3,03011896	12,1204759	4	2,65135409
2	2	1,8	1	2	5,8	3,1383375	15,6916875	5	3,57121164
2	2	1,6	1	2	5,7	3,08422823	18,5053694	6	2,8136819
3	3	3,3	1	3	6,23333333	3,37281099	3,37281099	1	3,37281099
3	3	3,1	1	3	6,06666667	3,28262888	6,56525776	2	3,19244677
3	3	3,5	1	3	6,1	3,3006653	9,9019959	3	3,33673815
3	3	3,4	1	3	6,16666667	3,33673815	13,3469526	4	3,44495668
3	3	3,2	1	3	6,23333333	3,37281099	16,864055	5	3,51710237
3	3	3,3	1	3	6,2	3,35477457	20,1286474	6	3,26459246
4	1	4,5	2	4	4,96666667	2,68742694	2,68742694	1	2,68742694
4	1	4,8	2	4	4,86666667	2,63331767	5,26663534	2	2,5792084
4	1	4,5	2	4	4,73333333	2,56117198	7,68351595	3	2,4168806
4	1	4,4	2	4	4,86666667	2,63331767	10,5332707	4	2,84975474
4	1	4,6	2	4	4,9	2,65135409	13,2567705	5	2,72349978

Tesis en opción al título académico de máster en Ingeniería Agrícola

4	1	4,4	2	4	4,86666667	2,63331767	15,799906	6	2,54313556
5	2	7	2	5	6,03333333	3,26459246	3,26459246	1	3,26459246
5	2	7,1	2	5	6,03333333	3,26459246	6,52918491	2	3,26459246
5	2	6,9	2	5	5,8	3,1383375	9,4150125	3	2,88582759
5	2	6,7	2	5	5,83333333	3,15637392	12,6254957	4	3,21048319
5	2	6,8	2	5	5,96666667	3,22851961	16,1425981	5	3,51710237
5	2	6,9	2	5	5,93333333	3,21048319	19,2628991	6	3,12030108
6	3	5,6	2	6	14,93333333	8,08031724	8,08031724	1	8,08031724
6	3	5,6	2	6	15,03333333	8,13442651	16,268853	2	8,18853577
6	3	6,1	2	6	14,73333333	7,9720987	23,9162961	3	7,6474431
6	3	5,7	2	6	14,86666667	8,04424439	32,1769776	4	8,26068146
6	3	6	2	6	14,86666667	8,04424439	40,221222	5	8,04424439
6	3	5,8	2	6	14,96666667	8,09835366	48,590122	6	8,3689
	1	7	3	7					
	1	6,6	3	7					
	1	6,8	3	7					
	1	6,9	3	7					
	1	6,8	3	7					
	1	6,7	3	7					
	2	6,7	3	8					
	2	6,8	3	8					
	2	6,6	3	8					
	2	7	3	8					
	2	6,9	3	8					
	2	6,8	3	8					
	3	5	3	9					
	3	4,8	3	9					
	3	4,9	3	9					

