



**Trabajo de Diploma en opción al título de
Ingeniero Agrónomo**

**Título: Necesidades hídricas, uniformidad del
riego y rendimiento del maíz (*Zea mays* L) en la
CPA “Mártires de Barbados”**

Autor: Rodesi López Álvarez

Tutor: MSc. Reinaldo Pérez Armas,

Curso 2021

Resumen

Con el objetivo de analizar la influencia de la gestión del riego establecido en la CPA “Mártires de Barbados”, sobre el nivel de satisfacción de las necesidades hídricas de los cultivos y de sus resultados productivos partiendo del cálculo de la evapotranspiración de referencia, la evaluación de la uniformidad y eficiencia del riego y la determinación de la relación entre todas estas variables se desarrolló el presente trabajo en el periodo comprendido de septiembre del 2020 a septiembre del 2021. Se desarrolló una investigación no experimental de tipo explicativa. Se realizaron observaciones, entrevistas y encuestas para diagnosticar el estado de la temática objeto del estudio. Se determinaron las necesidades hídricas del cultivo con el Software CROPWAT. Se evaluó el comportamiento de los parámetros de explotación de la máquina de pivote central 4 con el empleo del paquete Pluviopivot. Como resultados principales se obtiene que las necesidades hídricas reales del cultivo del maíz no se conocen por lo que el riego se maneja de manera empírica desaprovechando una parte de las lluvias caídas, la maquina trabajó con una uniformidad entre 75,9 y 79,8 % y que tanto el rendimiento agrícola como la productividad del agua no alcanzan su máximo potencial.

Palabras clave

Evapotranspiración, necesidades hídricas, pivote central, pluviometría, productividad del agua, rendimiento

Abstract

With the aim of analyzing the influence of irrigation management established in the CPA "Martyrs of Barbados", on the level of satisfaction of the water needs of crops and their productive results based on the calculation of the reference evapotranspiration, the evaluation of the uniformity and efficiency of irrigation and the determination of the relationship between all these variables, this work was developed in the period from September of the 2020 to September 2021. A non-experimental research of an explanatory type was developed. Observations, interviews and surveys were carried out to diagnose the state of the subject matter object of the study. The water needs of the crop were determined with the CROPWAT Software. The performance of the operating parameters of the central pivot machine 4 was evaluated with the use of the Pluviopivot package. As main results it is obtained that the real water needs of the corn crop are not known so the irrigation is managed empirically wasting a part of the rainfall, the machine worked with a uniformity between 75.9 and 79.8% and that both the agricultural yield and the water productivity do not reach their maximum potential.

Key words

Evapotranspiration, water needs, central pivot, rainfall, water productivity, yield

Índice

Introducción	1
Capítulo 1. Revisión bibliográfica	5
1.1 La evapotranspiración de referencia, las necesidades hídricas de los cultivos y las condiciones edafoclimáticas	5
1.2. Necesidades hídricas, la uniformidad del riego y el rendimiento	15
1.3 La gestión del riego y su mejoramiento continuo	17
Capítulo 2. Materiales y Métodos	19
2.1. Diagnóstico del comportamiento de las necesidades hídricas del maíz, así como, la uniformidad y eficiencia del riego en las máquinas de PIVOT central, dadas las condiciones edafoclimáticas donde se ubica la CPA "Mártires de Barbados"	20
2.2. Relación entre la satisfacción de las necesidades hídricas mediante el riego, la uniformidad del riego y el rendimiento agrícola y de uso del agua obtenido en el cultivo del maíz	25
2.3 Elaboración plan de mejoras en la gestión del riego que se aplica en la CPA Mártires de Barbados	25
Capítulo 3: Resultados y discusión	27
3.1. comportamiento de las necesidades hídricas del maíz, la uniformidad y eficiencia del riego en la máquina de PIVOT central 4 dadas las condiciones edafoclimáticas donde se ubica la CPA "Mártires de Barbados".	27
3.2. Relación entre la satisfacción de necesidades hídricas del cultivo mediante el riego y el rendimiento agrícola y de uso del agua obtenido.	38
3.3. Propuesta de mejoras en la gestión del riego que se aplica en la CPA Mártires de Barbados, que permitan la satisfacción de las necesidades hídricas de los cultivos, que se traduzcan en buenos rendimientos agrícolas	41

Conclusiones	47
Recomendaciones	48
Anexos	49

INTRODUCCION

La disminución de los recursos hídricos disponibles causa problemas críticos de escasez de agua. En consecuencia, ganan importancia los estudios para hacer estimaciones precisas del consumo de agua del cultivo (Amiri et al., 2012; Bozkurt-Colak, 2019; Opoku et al., 2019)

La creciente demanda de alimentos para satisfacer las necesidades de la población mundial es el principal factor que provoca el incremento en el consumo de recursos hídricos (UNESCO, 2009). Ya en el 2002, se consumían aproximadamente 3 600 km³ de agua dulce para uso humano en todas las regiones, con excepción de Europa y América del Norte, la agricultura fue el sector que más agua consumió (FAO, 2002).

La agricultura es el mayor consumidor de agua a nivel mundial, pues a este sector se destina anualmente el 70 % del agua total utilizada en el planeta (FAO, 2011). Son dos los factores fundamentales que influyen en este alto consumo de agua: la gran demanda de agua por unidad de producción que tienen los productos agrícolas y las eficiencias globales de riego que en general es baja.

En este contexto, es cada vez más importante dirigir los esfuerzos para suministrar al cultivo las cantidades de agua que realmente demanda y que no han sido cubiertas con las precipitaciones.

El mejoramiento de la eficiencia de los sistemas de riego es un tema prioritario para la mayoría de los países del mundo (Sánchez y Sánchez, 2004). Con el incremento de la eficiencia se podrá alcanzar niveles de producción superiores con menos agua.

En el 60 Encuentro del Consejo Ejecutivo de la Comisión Internacional de Riego y Drenaje y la 5^{ta} Conferencia Regional Asiática, este fue un aspecto analizado y se constató un aumento significativo de la eficiencia del riego (hasta en un 20 %) solo con mejoras en la operación de los sistemas y el manejo del riego (Madramootoo y Helen Fyles, 2010; Mukesh y Kapadia, 2010).

En los próximos años, se prevé que se produzca una revolución en la agricultura de regadío a nivel mundial, incrementándose la superficie beneficiada, realizándose nuevas infraestructuras, instalándose nuevos sistemas que conlleven el aumento de la

eficiencia del riego y en muchas zonas regables se producirá un cambio del tipo de cultivo. De cara a afrontar los retos que conlleva esta revolución, hay que tener en cuenta los principales impactos negativos sobre el medio ambiente que tiene actualmente la agricultura de regadío (contaminación de las masas de agua, sobreexplotación de acuíferos, salinización de las tierras de cultivo, etc.), a lo que hay que añadir los efectos del cambio climático, que provocará que los periodos de sequía se intensifiquen y la disponibilidad de agua para agricultura será menor (Martín, 2017).

Diversos autores han señalado la importancia que adquiere en la planificación y operación del riego el conocimiento de las funciones agua rendimiento (González et al., 2010; González et al., 2013, 2014; Duarte et al., 2015; Herrera y González, 2015). Según ellos a partir de estas funciones pueden elaborarse reglas, con criterios técnicos económicos, para la distribución del agua disponible entre un grupo de cultivos, a fin de maximizar la producción o la ganancia económica en condiciones de déficit hídrico.

En Cuba, la agricultura es también el principal consumidor de agua dulce disponible. El Anuario Estadístico de Cuba 2017 refiere que, en ese año, se extrajo un volumen total de agua dulce de 6 661 millones de metros cúbicos y que, de estos, se consumieron en la agricultura 3 420 millones, lo que representa el 51,3% del total. En cuanto al agua dulce superficial, de un total de 3 877 millones de metros cúbicos, se emplearon en la agricultura 2 031 millones, lo cual representa un 52,4%, valor similar al consumo de agua dulce subterránea que alcanzó casi el 50% del agua dulce total (ONEI, 2018). La agricultura como principal consumidor de agua dulce, trabaja en la disminución el consumo de agua y una de las vías fundamentales para lograrlo es el aumento de la eficiencia en el uso del agua de riego y en el incremento de la productividad del agua.

El volumen de agua demandado por tonelada de producto agrícola, así como, la eficiencia en el uso de esta durante el riego, son los principales factores que condicionan su consumo. La gestión del riego determina cuándo y cuánto regar, sobre la base de las necesidades de agua de los cultivos, las características del suelo y las condiciones climáticas (Vázquez et al., 2017). Sin embargo, la no utilización de una programación del riego ajustada al clima, el suelo y las características del cultivo, son una de las principales causas de uso excesivo del agua de riego. Además, las unidades

de producción se enfrentan a la disminución de los volúmenes de agua disponibles debido al cambio climático y al aumento de las áreas bajo riego y por lo tanto, al incremento de la demanda de agua a los reservorios existentes. Las presas de las cuales se sirven, deberán contener menos agua en el futuro, debido a la disminución de las precipitaciones y al incremento de la temperatura ambiente, por lo tanto, habrá menos agua disponible para el crecimiento de las plantas.

El Estado Cubano, ha invertido cuantiosos recursos financieros en la ampliación de las áreas bajo riego, este incremento en la demanda de agua, puede atenderse aumentando la productividad del agua de riego empleada; esta última se define como, la razón entre la masa del producto cosechado y el volumen de agua aportada por el riego para la obtención del producto; obteniéndose su cálculo, a partir del rendimiento agrícola del cultivo y el agua aplicada por riego, el agua total aplicada (riego + precipitaciones efectivas) o la evapotranspiración del cultivo (González *et al.*, 2015).

El nivel de satisfacción de las necesidades hídricas reales y la uniformidad del riego aplicado en la CPA Mártires de Barbados, con máquinas de PIVOT Central, ha conllevado a la necesidad de diagnosticar su influencia en el rendimiento del cultivo del maíz, así como, a la identificación de prácticas en la gestión de riego más adaptables a las condiciones edafoclimáticas, productivas / sociales y a la precepción existente en esta unidad productora, acerca del aprovechamiento de recursos propios y de la experiencia endógena en lo relativo al uso y manejo del agua como recurso agrícola.

Problema Científico

¿Cuál será la influencia del nivel de satisfacción de las necesidades hídricas reales y de la uniformidad del riego, en los rendimientos agrícolas de los cultivos y del agua en la CPA “Mártires de Barbados”?

Hipótesis

Si se determinan las necesidades hídricas reales del cultivo y la uniformidad con que riega la máquina de pivote central 4 de la CPA “Mártires de Barbados, se podrá conocer cómo influyen ambas, en el rendimiento agrícola del maíz y en el rendimiento del agua.

Objetivo general

Analizar la influencia de la gestión del riego establecido en la CPA “Mártires de Barbados”, sobre el nivel de satisfacción de las necesidades hídricas de los cultivos y de sus resultados productivos partiendo del cálculo de la evapotranspiración de referencia, la identificación de la uniformidad y eficiencia del riego y la determinación de la relación entre todas estas variables

Objetivos específicos

1. Diagnosticar el comportamiento de las necesidades hídricas del maíz, así como, la uniformidad y eficiencia del riego en las máquinas de PIVOT central, dadas las condiciones edafoclimáticas donde se ubica la CPA “Mártires de Barbados”.
2. Determinar la relación entre la satisfacción de necesidades hídricas del cultivo mediante el riego y el rendimiento agrícola y de uso del agua obtenido
3. Proponer mejoras en la gestión del riego que se aplica en la CPA Mártires de Barbados, que permitan la satisfacción de las necesidades hídricas de los cultivos, que se traduzcan en buenos rendimientos agrícolas

CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para obtener los resultados productivos que de cualquier cultivo se espera es necesario prestar atención a sus exigencias desde la preparación del suelo hasta la cosecha y postcosecha y sin descuidar sus exigencias ecológicas.

En el caso particular de Cuba las necesidades hídricas cobran especial atención toda vez que las precipitaciones presentan una distribución irregular en las diferentes zonas geográficas y en el tiempo lo que hace a los cultivos dependientes del riego. Pero esta actividad puede ser muy costosa e inefectiva si no se conocen con precisión cuál es la fracción de las necesidades hídricas que no han sido cubiertas por las lluvias.

(Montero, 2000)

I.1. La evapotranspiración de referencia, las necesidades hídricas de los cultivos y las condiciones edafoclimáticas

I.1.1. Necesidades hídricas de los cultivos

Se entiende por necesidades hídricas de un cultivo “al volumen de agua requerido para el proceso de evapotranspiración, desde la fecha de la siembra o plantación hasta el día de la recolección, cuando el contenido de agua en el suelo es mantenido suficientemente por las precipitaciones y/o riego, de tal forma, que el agua no limita el crecimiento de las plantas o el rendimiento de los cultivos”. (Montero, 2000)

Por tanto, se puede aceptar que la evapotranspiración de un cultivo determinado representa sus necesidades hídricas, la cual según Montero (2000) se define como “la pérdida total de agua de una cubierta vegetal en forma de vapor a través de la evaporación y transpiración durante un intervalo de tiempo dado.

En la figura 1, se muestra el comportamiento de las ganancias y pérdidas del agua que se producen en el ambiente alrededor de una planta y dónde se evidencia la ocurrencia de los procesos de evaporación y de evapotranspiración

Desde los tiempos de Lamarck (Vieselov, 1965), se consideraba que toda modificación del medio ambiente produce cambios considerables en el desarrollo de los elementos de las plantas, suscitando la aparición y desarrollo de unas partes y el debilitamiento y

hasta la desaparición de otras. Según el famoso naturalista esto ocurre debido al cambio en la nutrición en los procesos de absorción y secreción de sustancias, en la cantidad obtenida de calor, luz, humedad y otros factores del medio.

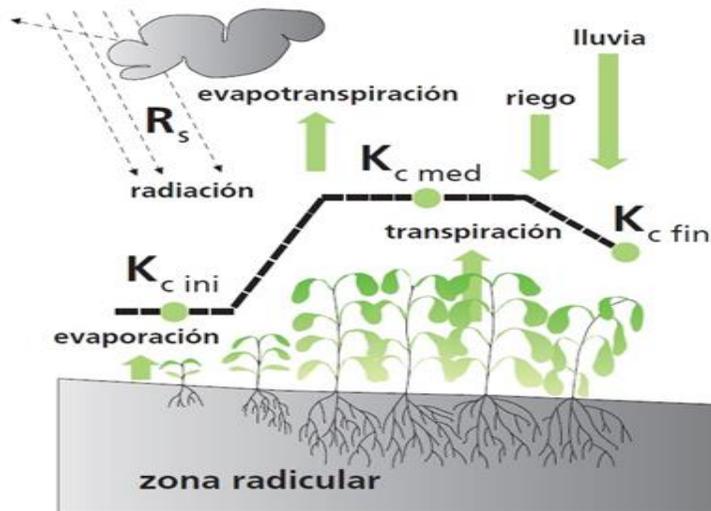


Fig.1: comportamiento de la evapotranspiración por fases de un cultivo.

Lo reflejado en esta figura, se refuerza con lo expresado por Jiménez (2007), en lo relativo a que el manejo racional de los factores climáticos es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todas las variables climatológicas, se encuentran estrechamente relacionadas y la actuación sobre una de estas, incide sobre el resto, así como, encuentra correspondencia con lo planteado por Altieri (2005), acerca de optimizar el uso de los recursos locales disponibles, combinando los diferentes componentes del agroecosistema, entre los que se encuentran el suelo y el clima; todo lo referido, permite afirmar que, la sostenibilidad de la producción agrícola, depende, no sólo de la existencia de una biodiversidad en los ecosistemas agrícolas, sino también del comportamiento de los factores climáticos.

1.1.2. Clima y riego

No hay duda de que el clima juega un papel importante en la formación de la faz de la tierra y en el tipo de actividades económicas que el hombre puede practicar (Mohammed et al., 2018). Se espera que el cambio climático (CC) resultante del aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera altere los regímenes

de temperatura y precipitación en todo el mundo, y que estos cambios, acompañados por un aumento de las fluctuaciones, causarán una gran disminución en el uso del agua de los cultivos y la producción de alimentos.

La mayoría de los estudios han asociado la variabilidad climática al resultado, como el rendimiento, los valores y los beneficios económicos de las explotaciones (OMM, 2009). Los estudios climáticos se han centrado en los rendimientos y se han enfatizado en la influencia del clima en el proceso fisiológico dinámico de crecimiento vegetal e información de grano.

Los escenarios climáticos también se han utilizado en la mayoría de los estudios para evaluar el efecto del cambio climático en varios cultivos. Al incorporar estos escenarios en los modelos de cultivos en algunos casos, los rendimientos simulados se comparan con los rendimientos observados con un éxito notable. Por este motivo, los estudios de variabilidad y cambio climático se han convertido en el punto focal de la diversificación de cultivos en todo el mundo (Müller et al., 2011).

En particular, en el campo de la agricultura, Cuba enfrenta una serie de importantes desafíos, que deben ser afrontados apropiadamente. Desde hace algunos años se vienen presentando en el país cambios climáticos, reflejo de fenómenos globales y de las particularidades de la geografía cubana, los cuales han tenido repercusiones sobre la producción de algunos cultivos agrícolas. Es entonces muy importante que se implementen estrategias y se usen herramientas que faciliten la adaptación de la agricultura a los cambios que está experimentando y seguirá experimentando el clima en el futuro.

El clima de Cuba, de modo semejante a lo que se ha observado en otras áreas del planeta, se ha caracterizado durante el siglo pasado por un ascenso progresivo de las temperaturas mínimas y medias, siendo más notable durante el período invernal y en la mitad nocturna del día, y acompañado por una reducción de la oscilación térmica diaria (Centella et al., 1997). El ascenso general apreciado en las temperaturas ha estado acompañado de una reducción del total de precipitaciones anuales del 10–20% y un aumento de la variabilidad interanual del 5–10%, con la característica de que las lluvias

han estado disminuyendo en el período lluvioso del año (desde mayo hasta octubre) y han aumentado en el período poco lluvioso (Lapinel et al,1993).

En la agricultura de regadío, la práctica de riego es uno de los procesos más complejos que debe realizar el agricultor debido a la multitud de factores implicados en el manejo del agua, requiriéndose de información técnica para el conocimiento preciso entre el agua usada y el rendimiento de los cultivos (García et al., 2009; Domínguez et al., 2012).

1.1.3. El suelo y el riego

Uno de los retos que enfrenta la agricultura cubana es detener los procesos que degradan los suelos, que permita establecer un sistema agrícola sostenible, capaz de solventar la creciente demanda alimentaria de la población. La degradación del suelo no solo provoca afectaciones en el aspecto sociopolítico, con la emigración de personas hacia lugares productivos, en el orden medio ambiental con la contaminación de las aguas, la extinción de las especies, el incremento de áreas desérticas y otros, sino además en el orden económico, ya que son necesarias inversiones cada vez mayores para mantener los niveles de producción (Pla Sentís 2002, Riverol y Aguilar 2015).

El papel preponderante del suelo, en el sistema, motiva que su conservación y mejoramiento tengan un impacto decisivo, desde los puntos de vista económico, medioambiental y social (Riverol et al. 1999 y 2001).

El uso reiterado e indiscriminado de estas prácticas han provocado que un 60 % de los suelos cubanos tengan contenidos de materia orgánica de bajo a muy bajo (Rodríguez 2016).

Los altos niveles de agrotecnologías aplicados a partir de entonces, y las deficientes o inexistente aplicación de medidas para su conservación, han agravado la situación agroproductiva de nuestros suelos, la cual, determinada tomando como referencia 10 cultivos principales que reúnen un amplio diapasón de requerimientos edafológicos, entre ellos su fertilidad natural, en ella el 67% de los suelos se agrupan en la categoría

III y IV (medianamente productivo y poco productivo respectivamente). (Instituto de suelos, 1986).

En estos suelos no se logra alcanzar el potencial productivo de los cultivos. Por lo anterior y en correspondencia con las dificultades económicas que ha enfrentado el país, se han tenido que buscar alternativas para frenar este fenómeno, mantener los rendimientos de los cultivos, mejorar la calidad de los suelos y compensar además la falta de fertilizantes minerales.

Entre estas alternativas se encuentran, la aplicación de medidas temporales y permanentes antierosivas, utilización de diferentes portadores de materia orgánica en los suelos, la búsqueda de una mayor eficiencia en el aprovechamiento de estos portadores, el empleo de los abonos verdes, el uso de los biofertilizantes (Fuentes y Martínez 2015), todas las cuales han constituido una tarea de primer orden para los productores, funcionarios y científicos que de una u otra forma intervienen en el proceso de producción agrícola cubano, donde se pone énfasis en la sustentabilidad ecológica a largo plazo más que en la productividad a corto plazo.

1.1.4. Máquinas de Pivote Central

Las máquinas de pivote central están entre los sistemas de riego más populares en el mundo. Ellas han hecho fácil y muy eficaz el riego en muchas áreas donde otros métodos de irrigación no son adecuados. Se pueden aplicar riegos más frecuentes y cubrir mejor los requerimientos de agua de los cultivos y aumentar al máximo la producción. Durante las últimas tres décadas, las máquinas de pivote central se han perfeccionado mucho. Son mecánicamente muy fiables y simples de operar, aunque, como cualquier maquinaria, el mantenimiento rutinario y sistemático es imprescindible. Estos equipos permiten un notable ahorro de agua y energía al compararse con otras técnicas como la aspersión tradicional y los pivotes de accionamiento hidráulico (González, 2006).

En Cuba se introducen los primeros pivotes "Fregat"(de tracción hidráulica) en 1977, procedentes de la antigua URSS, y muy pronto fue una técnica aceptada por los productores y generalizada en todo el país, siendo sustituida paulatinamente por las

máquinas eléctricas, aunque en extensión, el área regada con estas máquinas representa un 11 % del área regada en el país, es importante señalar que un monto significativo de las inversiones de riego recae sobre dichas máquinas, encargadas de garantizar el riego a más del 80 % del área que se siembra de papa y que además, están ubicadas sobre los suelos más productivos del país. (Pérez 2004).

Con más de dos décadas de experiencia en el uso de esta técnica, los productores explotan más de 1000 máquinas de este tipo, tanto hidráulicas como eléctricas. La transición hacia el riego de baja presión con el uso de boquillas ocurre en un momento en que los esfuerzos por la conservación de los recursos naturales (agua-suelo-energía) se acrecientan en el país (Fernández, 2005).

Más del 15 % de las áreas regadas en Cuba son beneficiadas con máquinas de riego por aspersión de pivote central, que representan más de 105 000 ha ubicadas en los suelos de mayores posibilidades productivas (Candelario, 2001).

Según Fernández (2005), gracias a los pivotes centrales y laterales móviles automáticos, es relativamente fácil manejar los niveles de riego en forma adecuada. Casi todos los cultivos, incluyendo caña de azúcar, huertos, frutales, así como los tradicionales de remolacha, maíz, papas, granos, alfalfa y hortalizas pueden y han sido regados con éxito con pivote bajo una amplia gama de condiciones. En ciertas situaciones se requieren prácticas culturales especiales como plantar en círculo o el uso de pretilas en los surcos (con forma de depósitos) para facilitar la infiltración en suelos pesados y prevenir escurrimiento superficial.

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 campos 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, mano de obra, energía, suelo, etc.; así como una mejora de los rendimientos de los cultivos (Tarjuelo, 1999).

La correcta utilización del agua por el regante para conseguir un uso eficiente de la misma requiere la aplicación de las técnicas de programación de riegos, que indican el

momento y la cuantía de cada riego, y un adecuado manejo de las redes de distribución y del proceso de aplicación de agua (Camejo y Duarte 2010).

Las grandes ventajas del pivote central como sistema de riego, ha despertado interés entre los productores agrícolas, no solo por el menor costo de inversión por hectárea regada sino también por otras características tales como: versatilidad para ser utilizado en diferentes condiciones de suelo, clima y cultivo, alto grado de automatización, posibilidad de aplicar cargas diferenciadas de agua acorde a las reales necesidades del cultivo, inyección de agroquímicos y dos aspectos relevantes como son la eficiencia de aplicación y uniformidad en la aplicación del agua (Allen et al, 2000)

1.1.5 Uniformidad y eficiencia del riego

Uniformidad del riego

Tarjuelo et al. (1995), determinan que la uniformidad de distribución del riego, es un término usado para darle valor de uniformidad de aplicación. El valor estándar para las máquinas de pivote central está en el rango de 80 a 90 %. y dan una idea de la extensión de la parcela en que el riego se ha aplicado correctamente demostrando que la acción del viento puede variar estos indicadores.

La uniformidad de distribución depende:

- Modelo de reparto del agua.
- Marco de siembra.

Alfonso (1999), sostiene que uno de los indicadores de la calidad del riego más empleado en los sistemas por aspersion es el Coeficiente de Uniformidad, valor que refleja el grado de uniformidad de la distribución de la lámina empleada por los puntos de emisión. Según este autor, los factores que se consideran influyen en el coeficiente de uniformidad son:

- a) **Relativos al aspersor:** tamaño, número y tipo de boquilla, ángulo de salida del chorro, presión y velocidad de rotación.
- b) **Relativos al sistema de distribución:** separación entre aspersor, altura del aspersor sobre el suelo o el cultivo, estabilidad del elevador.

c) **Relativo al clima:** velocidad y dirección del viento.

d) **Relativo a la explotación:** duración de la prueba velocidad y alineación del lateral.

e) **Relativo a la prueba pluviométrica:** se tiene separación entre los pluviómetros, diámetro de los pluviómetros, número y disposición de los ejes de evaluación.

Eficiencia del riego

La eficiencia potencial de aplicación recoge aspectos de uniformidad del riego como de pérdidas de agua en el proceso de la aplicación, por lo que es un parámetro que caracteriza mejor la calidad del riego de un sistema que la Uniformidad de Distribución (U.D).

Los equipos de aspersión son los de mayor inversión inicial, pero aseguran una alta eficiencia, homogeneidad en la aplicación del riego (Volmont, 1996).

Según Tarjuelo (1995), la eficiencia de riego determina el porcentaje de agua que realmente pueda aprovechar las plantas con respecto a la cantidad de agua total suministrada.

Según Volmont (1996), en la eficiencia de aplicación intervienen de forma notable los factores siguientes:

- Evaporación.
- Arrastre por el viento.
- Fugas del sistema.
- Presión de trabajo.

Mientras que Tarjuelo (1999), expresa que la pluviosidad desde el centro hasta el extremo del lateral con respecto al tiempo de aplicación de agua a un punto del terreno, va siendo cada vez menor a medida que se aleja del punto pivote, y todos los puntos tienen que recibir la misma cantidad de agua.

1.1.6 Evaluación de la uniformidad y eficiencia del riego.

Tárjuelo et al. (1995), comprueban que el coeficiente de uniformidad es una representación estadística de la uniformidad utilizada principalmente en los sistemas de aspersión y se determina mediante la expresión:

$$CU = \left(1 - \frac{\sum |x|}{\bar{x} \cdot n} \right) 100$$

Tarjuelo et al., (1995), modificaron el Coeficiente de Uniformidad para evaluar los sistemas de pivote donde cada pluviómetro representa una corona circular de área creciente a medida que se aleja del centro pivote y se tiene una nueva expresión para su determinación.

$$CU = \left[1 - \frac{\left| \frac{\sum_{i=1}^n D_i C_i}{\sum_{i=1}^n C_i D_i} - \frac{\sum_{i=1}^n C_i D_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \right|}{\sum_{i=1}^n C_i D_i} \right] 100$$

donde:

n – número de colectores;

C_i - cantidad recogida por el colector (con i variando entre 1 y n);

D_i - área regada por el colector i o distancia del centro del pivote al colector i;

M_c - media ponderada de las cantidades recogidas por los n colectores.

$$M_c = \frac{\sum_{i=1}^n C_i D_i}{\sum_{i=1}^n D_i}$$

Coeficiente de uniformidad de variación según Bremond y Molle (1995):

$$CU_V = \left[1 - \frac{1}{\sum \frac{C_i D_i}{D_i}} \cdot \sqrt{\frac{\sum \left(C_i - \frac{\sum C_i D_i}{\sum D_i} \right)^2 D_i}{\sum D_i}} \right] \cdot 100(\%)$$

Uniformidad de distribución:

$$UD_{25\%} = \frac{\text{Lámina media en el 25\% del área menos regada}}{\text{Lámina media de toda el área}} \cdot 100(\%)$$

Keller (1990), indica valores de coeficiente de uniformidad entre un 90 % y un 94 % para sistemas bien diseñados si se tiene en cuenta los riegos sucesivos al utilizar altas frecuencias.

Alfonso (1999), en trabajo realizado en máquinas de pivote central obtuvo valores del coeficiente de uniformidad de 65,7 y 73,5 % para velocidades del viento de 18 km/h.

Según Tarjuelo et al. (1990), algunos factores que afectan la uniformidad del reparto del agua tienden a compensarse en los sucesivos riegos mientras que otros tienden a interferirlos. Para el caso de sistemas pivotes pueden citarse: la falta de uniformidad en la velocidad de desplazamiento del equipo y funcionamiento defectuoso de algún aspersor.

Jensen (1980), citado por Tarjuelo et al. (1995), da a conocer algunos de los factores que afectan el Coeficiente de Uniformidad, lo que aparecen reflejado a continuación:

- Las diferencias en las condiciones de funcionamiento de los aspersores por cambio de elevación o pérdida de carga.
- La existencia de escorrentía.
- La pobre distribución del agua en los bordes.

Según Heerman y Kohl (1983), citado por Doorenbos y Kassam (1996), las eficiencias en máquinas de pivote central son alrededor del 90 %. Además, se reportan eficiencias de 70 y 80 % con máquinas utilizadas en zona de vientos moderados y sin bajantes, en estudios realizados por Fernández (2005), obtuvo valores de E.A de 71 - 90 % con bajantes, para velocidades del viento de 3 -12,5 km/h.

Dentro de las medidas de eficiencia la más frecuente según Tarjuelo y López (1989), es:

$$EPA = \frac{\text{Mediadelaguarecogidaenel25\%delospluviómetrosquemenosrecogen}}{\text{Mediadelaguadescargadaporlosaspersores}}$$

La diferencia entre el agua recogida por los pluviómetros y la descargada por los aspersores serán las pérdidas por evaporación y arrastre, estando incluidas también las imprecisiones propias del método de ensayo.

Rodríguez- Benedicto (1991), indicó que esta eficiencia de aplicación, según la expresión propuesta, está en función de dos factores:

- El Coeficiente de Uniformidad de distribución del agua de riego.
- La Eficiencia de almacenamiento del agua en el suelo.

Según Rodríguez- Benedicto (1991), este indica la bondad del diseño adoptado en el sistema de riego bajo un manejo razonablemente bueno y cuando se aplica la altura de riego deseada. La (EPA) es el valor de la eficiencia que normalmente se atribuye al sistema, y coincide con el valor que toma la (EA).

La diferencia entre la (EPA) y la (EA) es una medida de los problemas de manejo de riego. Un valor bajo de la (EPA) indica diseños de riego ineficientes, que sin embargo pueden estar justificados económicamente. Un valor bajo de la (EA) indica solo la posible existencia de problemas de manejo.

1.2. Necesidades hídricas, la uniformidad del riego y rendimiento del agua

El término “productividad del agua” ha sido muy utilizado desde de la última década del pasado siglo, y la definición como producción x agua utilizada es un concepto útil

cuando se compara la productividad del agua en diferentes partes del mismo sistema de riego o cuenca y también cuando se compara la productividad del agua en la agricultura con otros usos posibles de la misma (González et al., 2014)

La uniformidad de rendimiento del cultivo, cuando el agua es el único factor limitante, depende de la uniformidad del agua disponible en la zona radicular. Ésta es condicionada por los efectos de los riegos aplicados, la intercepción del agua por el follaje de la planta (la canopia) y su redistribución, la dinámica del agua en el suelo y del desarrollo del sistema radicular del cultivo. (Stern and Bresler, 1983; Li and Kawano, 1996; Chen et al., 2004).

Desde mediados del pasado siglo se vienen desarrollando numerosas ecuaciones para simular el comportamiento de los cultivos bajo diferentes condiciones de estrés (De Wit, 1958; Stewart et al., 1977; Sudar et al., 1981), fertilización (Cerrato and Blackmer, 1990; Stöckle and Debaeke, 1997; Errhebi et al., 1998), salinidad del agua de riego (Allen et al., 1998; García et al., 2006; Pereira et al., 2007), competencia con malas hierbas (Kropff and Spitters, 1993; Vitta and Satorre, 1999; Mansilla, 2005), etc. Estas ecuaciones han sido utilizadas para desarrollar modelos complejos que permiten simular el comportamiento de los cultivos bajo un amplio rango de condicionantes (isareg: Teixeira and Pereira, 1992; cropsyst: Stöckle et al., 1994; wofost: Boogaard et al., 1998; etc.). Sin embargo, ninguno de estos modelos tiene en cuenta el efecto de la uniformidad de la distribución del agua en el suelo ocasionado por la heterogeneidad del agua aplicada con el riego sobre el rendimiento del cultivo y el margen bruto obtenido.

Para el mejor uso económico y social del agua se requieren de métodos para evaluar su productividad, a fin de tomar mejores decisiones en cuanto a políticas y estrategias de utilización de manera sostenible (FAO, 2003). Los administradores del agua para el riego necesitan identificar tendencias en los patrones de uso y niveles de eficiencia con vistas a fijar metas y mejorar la productividad por unidad de volumen utilizado y/o consumido y por unidad de superficie de suelo (Playan y Mateos, 2006; Sánchez et al., 2006).

Para las condiciones de suelo y clima de Cuba no existen publicados indicadores de productividad del agua utilizada en la producción agrícola que permitan evaluar si los rendimientos obtenidos están en correspondencia con la cantidad de agua utilizada en el riego, cuestión de vital importancia en el contexto actual de cambios en la política económica del país, donde el balance de agua constituye un indicador de peso en la economía (PCC, 2012).

1.3. La gestión del riego y su mejoramiento continuo

Con frecuencia se asigna al riego la última prioridad, después de fertilización, nutrición y protección de cultivos. En consecuencia, es posible que los cultivos no estén recibiendo la cantidad y frecuencia de agua que necesitan.

La implementación en Cuba del pronóstico de riego de los cultivos agrícolas en los años 80 del siglo pasado, jugó un papel decisivo y revolucionario en la agricultura de regadío cubano. Esta actividad permitió dar un salto en la organización y ganar en la eficiencia del uso del agua, así como incrementar los rendimientos agrícolas (Cisneros Zayas, López Seijas, Leyva Leyva y Placeres Miranda, 2011).

La llegada del llamado periodo especial en tiempos de paz a inicio de los 90 del pasado siglo contribuyó a que todo lo que se había logrado para el pronóstico de riego, principalmente en equipamiento, se destruyera volviendo en gran medida al empirismo para determinar el momento y la dosis de riego y con ello la utilización de grandes volúmenes de agua

En el mundo hay varios reportes sobre la creación y desarrollo de los Servicios de Asesoramiento al Riego (SAR) los que vienen mostrando gran fuerza, principalmente por los objetivos que persigue y dado además por el hecho de que, cada vez es más común disponer de volúmenes limitados de agua por unidad de riego, lo que conlleva a realizar un uso racional y eficiente de la misma.

Como es conocido por todos, el objetivo principal del SAR es la mejora del uso y la gestión del agua de riego y se pretende con ello dar respuesta a los interrogantes planteados en el ámbito del riego por cualquier usuario final del agua o por técnicos de entidades relacionadas (Cisneros Zayas, Placeres Miranda y Jiménez Espinosa, 2013).

En Cuba los SAR han sido desarrollados a nivel de empresas o pequeñas zonas agrícolas con resultados destacados como en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú de Santa Clara y le Empresa Agropecuaria Miguel Soneiras del municipio Güines, entre otros.

Para los productores, conocer cómo operar correctamente sus sistemas de riego, les ayuda a hacer un uso eficiente y racional de los medios de producción, y especialmente el agua, los fertilizantes y la energía permitiéndoles optimizar su gestión, contribuyendo a que la agricultura sea una actividad sostenible compatible con el medio ambiente. (Cisneros, et al., 2015).

Para determinar las causas de una mala operación de la maquinaria de riego es necesario analizar cada equipo en particular, medir las variables que determinan la efectividad y eficiencia del riego y evaluar el desempeño de los distintos elementos mecánicos de un sistema; con esto no solo se obtendrá una mejor base de datos de operación sino que se podrá proponer acciones correctivas que incidan en una mejor operación de riego, siendo más eficiente, sin generar gastos excesivos de combustible y aplicando la adecuada lámina de riego al cultivo (Pérez, 2018).

Una vez realizada la evaluación del sistema corresponde establecer criterios de calidad respecto a las normas establecidas e identificar los problemas presentes y las causas que lo determinan y en función de estos problemas y sus respectivas causas determinar las acciones correspondientes que permitan revertir la situación.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el periodo comprendido de septiembre 2020 hasta octubre de 2021 tomando como escenario la CPA “Mártires de Barbados”, la que se encuentra entre las coordenadas geográficas: X = 560 – 566, Y = 244 – 246, en el Consejo Popular Rancho Luna, perteneciente al municipio Cienfuegos. Limita al norte y al sur con la Empresa Pecuaria La Sierrita, al este con la Granja Santa Martina de la Empresa Hortícola Cienfuegos y al oeste, con áreas de la Empresa Forestal Integral. En la figura 2, se muestra la ubicación geográfica de la CPA “Mártires de Barbados” dentro del municipio Cienfuegos.

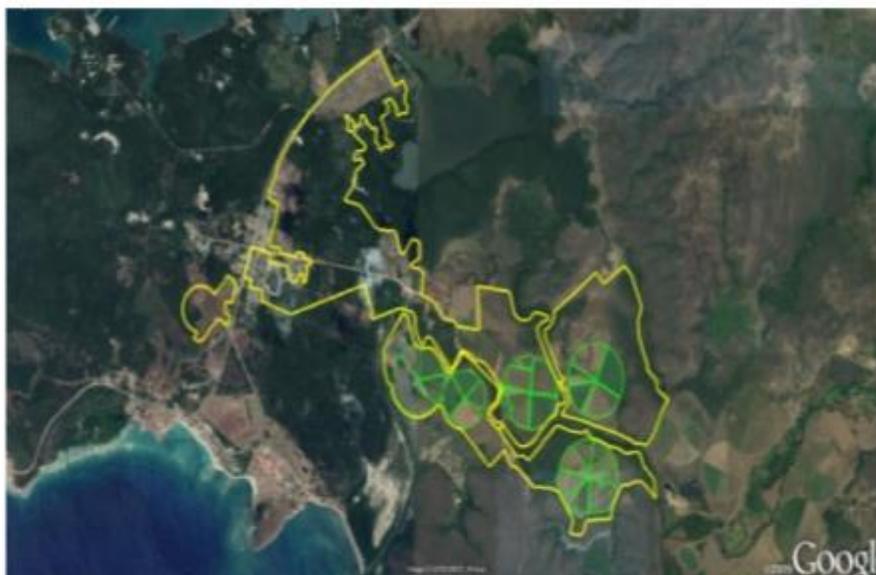


Figura 2. Ubicación geográfica de la CPA “Mártires de Barbados”

El estudio abarcó la distribución representativa de los valores medios diarios anuales de temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento. El comportamiento de las variables climáticas se tomó del Centro Meteorológico Provincial.

Del Departamento Provincial de Suelo se tomó la caracterización de los suelos predominantes de la unidad objeto de estudio.

El cultivo seleccionado para el estudio fue el maíz, con la variedad maig 5461 cat:CL:6-5160-18-1 con un porcentaje de germinación de un 73% y la variedad maiz maig 5461

cat: CL:6-5071-17-1 con un porcentaje de germinación de 75 %. La siembra se realizó el 25 de mayo de 2021 con una distancia de plantación de 0.70 x 0.25. La cosecha del cultivo se efectuó el 25 de septiembre de 2021

En el desarrollo del trabajo se emplearon métodos del nivel teórico como: el analítico-sintético, el inductivo-deductivo y el histórico lógico. Del nivel empírico se emplearon la encuesta, entrevistas, observaciones y mediciones en el lugar y del nivel matemático se empleó el procesamiento de información con los Softwares Pluviopivot y CROPWAT.

2.1. Diagnóstico del comportamiento de las necesidades hídricas del maíz, así como, la uniformidad y eficiencia del riego en las máquinas de PIVOT central, dadas las condiciones edafoclimáticas donde se ubica la CPA “Mártires de Barbados”

Para conocer la evapotranspiración y por tanto las necesidades hídricas del cultivo seleccionado se realiza el cálculo de la Evapotranspiración de Referencia (ET_o), que permite predecir los efectos del clima en la Evapotranspiración del Cultivo (ET_c). Para el cálculo de la Evapotranspiración de Referencia (ET_o) utilizamos el software CROPWAT (FAO, 2006), cuya ventana principal se representa en la figura 3. Este programa se fundamenta en el empleo de la fórmula de Penman-Monteith que se basa en la relación que existe entre la radiación solar y la evapotranspiración.

$$ET_o = \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{10}{L} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} \frac{90}{T + 273} u_2 (e_s - e_a) \right]$$

Ecuación de Penman-Monteith.

Donde:

ET_o: evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

γ*: constante psicométrica modificada utilizada en el método de Penman-Monteith (mbar/°C)

e_s – e_a: déficit de presión de vapor (mb)

e_s : presión de vapor a saturación a la temperatura promedio del aire (mb)

e_a : presión de vapor tomada a la temperatura a punto de rocío (mb)

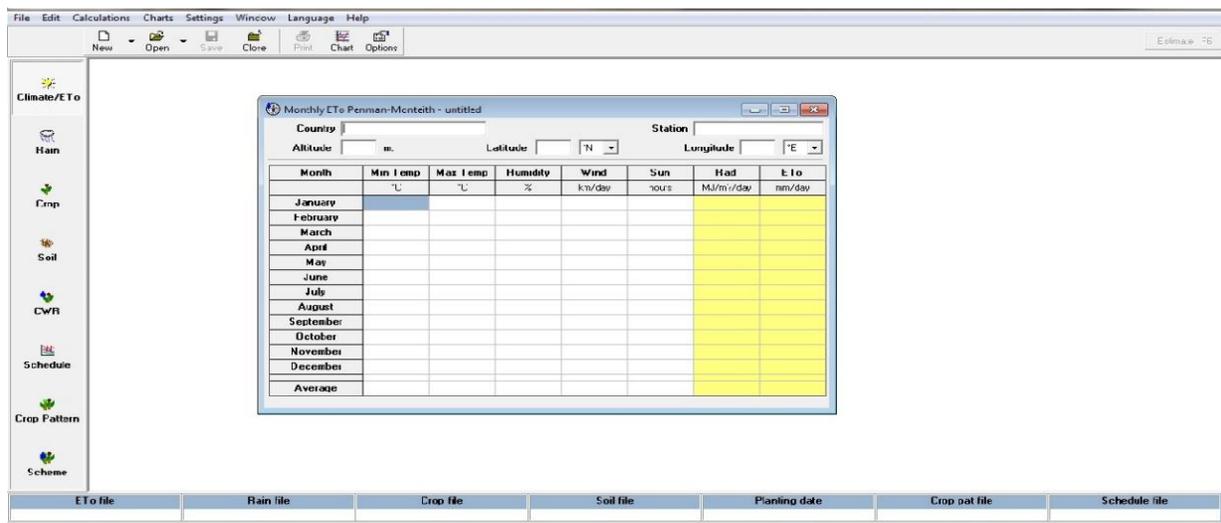
L: calor latente de vaporización (cal/gr)

γ : constante psicométrica

Δ : pendiente de la curva de presión de la saturación de vapor a una temperatura específica (mbar/ $^{\circ}$ C)

R_n : energía de radiación neta (cal/(cm² día)

T: temperatura promedio ($^{\circ}$ C)



G: flujo termal del suelo (cal/cm²)

Figura 3: Ventana principal del Software para el cálculo de la Evapotranspiración de referencia, CROPWAT.

Conocida la ETo y con los valores de K_c de los cultivos objeto de estudio, se calcula la Evapotranspiración del cultivo y por tanto, las necesidades hídricas de los mismos a partir de la expresión:

$$ET_c = ETo \times K_c$$

Donde:

ET_c : evapotranspiración del cultivo

Kc: coeficiente del cultivo

ETo: evapotranspiración de referencia

En los cultivos seleccionados se tuvo en cuenta:

- Variedad
- Fecha de siembra
- Profundidad efectiva
- Agrotecnia aplicada
- Fecha de cosecha

Evaluación de la uniformidad y eficiencia del riego en la máquina de pivote central 4

El objetivo que se persigue con las evaluaciones de los equipos de riego es el informar a los regadores de las características de funcionamiento de los equipos, detección de posibles fallos, información de dotaciones reales, uniformidad de distribución del agua, criterio de la calidad del riego, para poner en manos del agricultor un informe detallado del estado de funcionamiento de su sistema.

La evaluación de las máquinas de pivote central (pivots) sigue la metodología propuesta en las normas internacionales ISO-11545 (2002) y ANSI/ASAE STANDARDS S 436 (1995).

El material necesario para realizar una evaluación completa es:

- Un número de pluviómetros suficientes en dependencia de la longitud de la máquina.
- Una cinta métrica
- Un cronómetro
- Manómetro calibrado para control de la presión en los puntos fijados.
- Probeta
- Anemómetro

- Termómetros (de bulbo húmedo y seco)
- Evaporímetro
- Registro de campo

Se eligió la zona de la evaluación, sin que el porte de los cultivos influyera en la captura del agua por los pluviómetros. Para este estudio siempre se escogió uno de los viales de acceso al pivot para la colocación de los pluviómetros.

En la zona de ensayo se midió la separación entre torres, conociendo así cual era la longitud del pivot hasta la última torre y la longitud del alero, y por tanto la superficie regada.

Seguidamente se dispuso los pluviómetros siguiendo la dirección de un radio, comenzando desde el centro del pivot. La separación entre los pluviómetros en el radio fue de 2 m.

Los pluviómetros se colocaron lo suficientemente lejos del pivot con el fin de que cuando el frente mojado llegara a los pluviómetros el pivot esté funcionando en su régimen normal y en plena carga.

Los parámetros que se midieron en el campo fueron:

- La velocidad media de desplazamiento de la última torre: para ello se determinó el tiempo que tardó el equipo en recorrer una distancia previamente establecida.
- La presión fue medida en la cabeza del pivot con el manómetro.
- Se comprobó las características de la máquina (marca, modelo, nº de boquilla, altura de la boquilla).
- Se verificó la distribución de boquillas en cuanto a la separación entre ellas y el tipo de acuerdo a la posición que ocupan en la máquina y se colocaron correctamente.
- Se midió el volumen de agua recogida en los pluviómetros, comenzando por los situados en el extremo de la parcela, que son por los que primero pasó el pivot. Justo antes de iniciar la lectura se midió uno de los pluviómetros de evaporación y el otro cuando se terminó la recogida de agua de los pluviómetros.

Durante el tiempo de la evaluación, se tuvo en cuenta las condiciones climáticas, midiendo en intervalos de 15 minutos la temperatura, la humedad relativa y la velocidad y dirección del viento, así como la evaporación existente durante el proceso de riego y de lectura.

Durante el ensayo se hicieron distintas observaciones de interés para el estudio, tanto del equipo, como del terreno. Se chequeó el modelo de los emisores para ver si éstos llevaban reguladores de presión, si existían algunos emisores obstruidos y/o para ver el efecto del goteo continuo por las juntas de unión de la tubería o por la parte baja de los tirantes, así mismo para observar cualquier otra anomalía que pueda comprobarse, tipo de terreno y la posible escorrentía o encharcamiento.

Posteriormente con todos los datos recogidos en el campo se procesó la información con el software Pluviopivot que permitió obtener los siguientes parámetros:

- Pluviometría media recogida al nivel del suelo.
- Pluviometría media recogida en el 25 % de la superficie de la parcela menos regada.
- Eficiencia de recogida.
- Uniformidad de distribución.
- Superficie que recibe un 15 % por encima (área regada excesivamente), un 15 % por debajo de la altura media recogida (área regada insuficientemente) y la superficie bien regada (-15 y 15 % de la lámina media).
- Coeficiente de uniformidad de Heermann y Hein. calificándolos según la siguiente graduación (Tarjuelos, 2005):
 - Menor del 80 % : riega mal
 - Entre 80 y 85 % : puede mejorar
 - Entre 85 y 90 % : riega bien
 - Mayor de 90 % : riega muy bien

2.2. Relación entre la satisfacción de las necesidades hídricas mediante el riego, la uniformidad del riego y el rendimiento agrícola y de uso del agua obtenido en el cultivo del maíz

Para determinar esta relación primero se trabajó para determinar el rendimiento agrícola, para lo cual se establecieron parcelas de 36 m², una en cada tramo de la máquina donde se observó el rendimiento (Kg.m⁻²)

Con esta información y la determinada sobre el riego aplicado y la uniformidad se establece la relación

- Rendimiento por m³ de agua empleado en el riego

$$WPI = \frac{R}{Mb} \text{ (Kg.m}^{-3}\text{);}$$

Donde:

WPI: Rendimiento por m³de agua aplicado con el riego

R: Rendimiento Agrícola (kg.ha⁻¹)

Mb: Norma total bruta aplicada (m³.ha⁻¹)

- Rendimiento por m³ de agua total recibida por el cultivo

$$WPT = \frac{R}{Wt}$$

Donde:

WPT: Rendimiento por m³de agua aplicado con el riego

R: Rendimiento Agrícola (kg.ha⁻¹)

Wt: Agua total recibida por el cultivo (riego más precipitación efectiva) durante el ciclo (m³.ha⁻¹)

2.3 plan de mejoras en la gestión del riego que se aplica en la CPA Mártires de Barbados

Las observaciones directas en el lugar, las entrevistas con directivos y operadores de riego, la revisión de documentos y las evaluaciones realizadas permitieron determinar las insuficiencias presentes en la CPA con el riego y determinar las causas y el conjunto de acciones que contribuirían a su solución las que quedarán recogidas de manera apaisada por cuatro áreas de actuación

Se identifican las posibles causas que más influyen en el problema y en función de ambos se establecen acciones que den solución a los mismo con un plazo de cumplimiento o de periodicidad de realización

Área de actuación	Problemas	Causas	Acciones	Fecha de cumplimiento

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. comportamiento de las necesidades hídricas del maíz, la uniformidad y eficiencia del riego en la máquina de PIVOT central 4 dadas las condiciones edafoclimáticas donde se ubica la CPA “Mártires de Barbados”.

La Cooperativa de Producción Agropecuaria Mártires de Barbados está comprendida en la región climática Tropical poco húmeda de zonas costeras. Son territorios calientes, ligeramente lluviosos en el período húmedo y en invierno presentan humedad baja, sometida a la influencia de vientos locales (brisas terrales) abarcando una zona de llanuras que bordea la bahía de Cienfuegos y las costas. Las temperaturas medias anuales fluctúan entre 23 y 26 °C durante el período seco y 26 y 28 °C en el período húmedo. Las precipitaciones son relativamente abundantes con una media anual de 1384 mm. La humedad relativa media es del 76 % y la dirección predominante de los vientos es del NE, siendo su velocidad predominante de 6.5 m.s⁻¹

A partir del comportamiento de las variables meteorológicas en la serie histórica 1981-2010 se pudo determinar, con el software CROPWAT 8.0, la evapotranspiración de referencia (ET_o) para los meses que comprendió el estudio cuyos resultados se muestran en la tabla 1. Como se aprecia en la propia tabla, los datos de entrada para determinar la ET_o son parámetros climáticos por lo que la ET_o es también un parámetro climático. Este valor expresa el poder evaporante de la atmósfera en la localidad y época del año especificada, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo (Hervis, 2018).

El valor más alto de la evapotranspiración de referencia promedio diaria corresponde al mes de mayo que no es el de más altas temperaturas, pero si el segundo en más baja humedad relativa y, sobretudo el de mayor velocidad del viento promedio, demostrando así su alto poder evaporante

Conocida la evapotranspiración de referencia se puede determinar la evapotranspiración del cultivo y con esta planificar certeramente los elementos del régimen de riego tales como la dosis, norma o lámina de agua aplicar, la fecha y el

intervalo de riego y con ello suplir las necesidades hídricas del cultivo que no son cubiertas con la lluvia

Tabla 1: comportamiento de las variables meteorológicas

Meses	Temperatura (°C)		Humedad (%)	Velocidad Viento (m.s ⁻¹)	Insolación (h)	Radiación solar MJ.m ² .día ⁻¹)	ETo (mm.día ⁻¹)
	Mínima	Máxima					
Mayo	21.4	31.8	73	7.0	8.3	22.4	6.24
Junio	22.8	32.4	78	5.2	7.2	20.8	5.40
Julio	22.8	33.1	77	4.9	8.6	22.8	5.82
Agosto	22.9	32.9	79	4.3	7.3	20.5	5.20
Septiembre	22.7	32.2	82	4.0	7.0	19.0	4.57
Promedio annual	20.3	30.7	76	6.5	8.0	19.5	5.23

Fuente: programa CROPWAT

La lluvia es otro de los elementos a considerar en la planificación del riego. De su magnitud, frecuencia e intensidad depende la cantidad que es retenida por el suelo para convertirse en humedad aprovechable por las plantas. La diferencia numérica entre el valor de la evapotranspiración que debe experimentar la planta y la lluvia aprovechable es la cantidad de agua que debe garantizarse con el riego. Disponer de estos datos y de una herramienta como el programa CROPWAT facilitan la toma de decisiones para poder decidir cuándo y cuánto regar dejando atrás obsoletos métodos como el de intervalos y dosis fijas que solo logran derrochar agua, afectar el suelo, las fuentes de agua, los cultivos y la economía.

Teniendo como fortaleza la existencia de un pluviómetro en la propia Cooperativa, el cual pertenece a la red del Instituto de Recursos Hidráulicos, se dispone de una información más precisa de esta variable climática y de fácil acceso para su uso en la gestión agrícola.

Las precipitaciones medias en los meses del estudio alcanzan valores altos considerando que el mismo se encuentra dentro del periodo de la primavera. Los meses de agosto y septiembre son los más lluviosos con valores de 255 mm y 223 mm respectivamente. Según el cálculo que realiza el programa CROPWAT, de la lluvia total caída solo el 66,3 % se considera efectiva, es decir que es retenida por el suelo y empleada por el cultivo con los meses de julio a agosto como los más lluviosos (ver tabla 2)

Los valores reportados para igual periodo en el propio año en que se desarrolló el cultivo son inferiores a los medios históricos y llegan hasta los 600,4 mm, con julio y agosto como los más lluviosos. Si bien el comportamiento histórico de las precipitaciones es importante a la hora de establecer un régimen de riego de proyecto, muy importantes es lo que ocurre en el propio año en que se desarrolla el cultivo, lo que permite corregir el mencionado régimen de riego y atender así a las verdaderas necesidades hídricas que las lluvias no suplen

Tabla: 2 Comportamiento de las precipitaciones desde mayo hasta septiembre en el periodo 2000-2012 y en el 2021

MESES	PRECIPITACIONES (MM)		
	Caída	Efectiva	2021
MAYO	121.8	98.1	145.7
JUNIO	183.7	129.7	90.4
JULIO	172.3	124.8	338.7
AGOSTO	255.1	137.8	225
SEPTIEMBRE	223	143.4	18.4
TOTAL	955.9	633.8	656.2

Fuente: a partir del Software CROPWAT.

Los requerimientos decenales de agua expresados por la evapotranspiración del cultivo (ETc) en ese periodo de tiempo y la precipitación efectiva o aprovechable son elementos esenciales para conocer la fracción que será cubierta con el riego y con ello planificar la fecha y las dosis

Las necesidades decenales de agua para el maíz, según el programa CROPWAT, para las condiciones edafoclimática y época de siembra muestra valores que van en ascenso en la medida que el cultivo avanza en su desarrollo y crece con ello la demanda de agua, como se observa en la tabla 3. Este valor permite decidir la programación del riego considerando la fracción de estas necesidades que no ha sido cubierta con la lluvia

En el lugar donde se realiza el estudio se puede aplicar con exactitud el agua requerida por el cultivo al disponer de un sistema estacionario, una máquina de pivote central, que solo atiende un área específica y no rota por otras áreas. Además, se cuenta con un pluviómetro relativamente cerca para conocer el volumen de las precipitaciones y utilizarlo en la programación del riego

Tabla: 3 Requerimientos de agua del cultivo del maíz

Meses	Decenas	Fase	Kc	ETc (mm.día ⁻¹)	ETc (mm.dec ⁻¹)
Mayo	3	Inicio	0,60	3,58	25
Junio	1	Inicio	0,60	3,37	33,7
	2	Des	0,60	3,20	32
	3	Des	0,68	3,73	37,3
Julio	1	Des	0,79	4,55	45,5
	2	Des	0,90	5,33	53,3
	3	Med	0,98	5,56	61,2
Agosto	1	Med	0,98	5,31	53,1

	2	Med	0,98	5,11	51,1
	3	Med	0,98	4,90	53,9
Septiembre	1	Fin	0,86	4,09	40,9
	2	Fin	0,57	2,63	26,3
	3	Fin	0,42	1,90	1,9
TOTAL					515,2

Fuente: a partir del Software CROPWAT

A partir del comportamiento de las variables climáticas y considerando las características del suelo, del cultivo y la técnica de riego, la dinámica de la humedad del suelo, representada en la figura 4, muestra las fluctuaciones experimentadas como resultado de los ingresos y egresos de agua. Para que pueda mantenerse la humedad del suelo entre los límites óptimos (capacidad de campo y límite productivo), el aporte del riego es decisivo debido a que las precipitaciones que ocurren tanto por su intensidad como por la frecuencia no se aprovechan al 100 %. Este sería un comportamiento ideal para que el cultivo no se vea afectado por carencias de humedad.

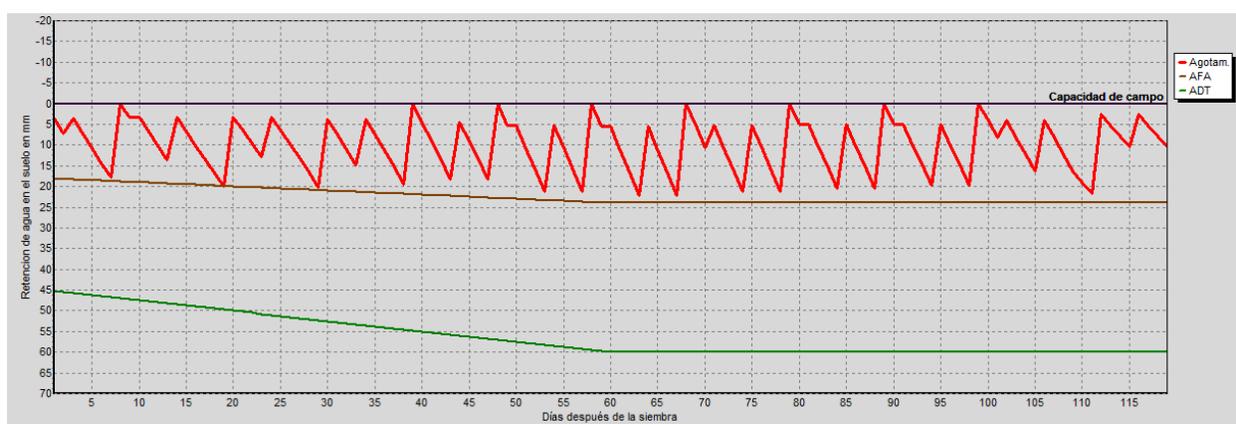


Figura 4: Régimen de riego de proyecto para el maíz

Para lograr que la humedad del suelo no descienda del límite del agua fácilmente utilizable (AFU), como se muestra en el Figura anterior, se proyecta la aplicación de 8 riegos con un intervalo entre 9 y 11 días excepto entre los dos primeros riegos donde se presentaron lluvias que satisfacen las exigencias del cultivo.

Sin embargo, en la práctica el régimen de riego calculado no se corresponde con el aplicado como muestra la tabla 4. Tanto las láminas aplicadas como el intervalo entre los riegos no consideran las demandas reales del cultivo. De este análisis se infiere que se desconocen las necesidades hídricas reales del cultivo y el manejo de este se hace de forma empírica

Tabla 4: dosis e intervalo de riego por etapas según modelo CROPWAT y el aplicado al cultivo

Según modelo CROPWAT					Aplicado			
Fecha	Días	Etapas	Lámina neta (mm)	Intervalo riego (días)	Fecha	Lámina neta (mm)	Intervalo riego (días)	Observaciones
1 junio	8	Inicio	21,3		1-06	13.6		
					8-06	15.2	7	
					15-06	15.2	7	
					22-06	15.2	7	
2 julio	39	Desarrollo	24,0	31	29-06	15.2	7	
11 julio	48	Desarrollo	23,5	9	13-07	19.5	15	Se suspendió un riego por la lluvia
21 julio	58	Desarrollo	26,9	10	24-07	19.5	11	
31 julio	68	Media	27,8	10	31-07	27.3	7	

11 agosto	79	Media	26,3	11	13-08	27.3	14	Atrasado por la lluvia
21 agosto	89	Media	25,3	10	20-08	27.3	7	
31 agosto	99	Media	24,5	10	27-08	19.5	7	Llovió ese propio día
					3-09	19.5	7	
					10-09	13.6	7	
21 septiembre	119	fin	-	20	17-09	13.6	7	
Total			199.6			261.5		

Fuente: El autor

El régimen de riego de proyecto es una buena base o punto de partida para aplicar el de explotación ajustando los elementos que lo conforman a las condiciones concretas del propio año en que se aplica y así mantener la humedad del suelo entre la capacidad de campo y el límite productivo.

Las precipitaciones, durante el periodo del estudio, tuvieron presencia en 31 de los 120 días que duró el mismo, como muestra la figura 5, y en 25 de ellos con valores superiores a 5 mm, por lo que se consideran efectivas, coincidiendo con Hernández (2016), quien plantea que, si la cantidad de lluvia es muy pequeña (hasta 5 mm), puede ocurrir que no sea aprovechada porque toda o parte de ella queda en la superficie de la vegetación y de allí se evapora.

La figura 5 también muestra la fracción que se aprovecha del volumen de las precipitaciones, considerando la humedad del suelo existente el día que se produjo.



Figura 5: comportamiento de las lluvias en el periodo de estudio

Del total de precipitaciones ocurridas sólo se aprovecha el 35 % como muestra la figura 6, ese bajo aprovechamiento se debe a la ocurrencia de precipitaciones en días consecutivos, a los volúmenes diarios y al nivel de humedad del suelo en el día que ocurre la lluvia



Figura 6: Aprovechamiento de las lluvias

A partir de las precipitaciones ocurridas y su aprovechamiento, de la evapotranspiración del cultivo y de las características del suelo se ajustó el régimen de riego de proyecto, el cual se representa en la figura 7, con el que se reduce el número de riego a 12 aplicaciones con una dosis total de 258,5 mm en todo el ciclo del cultivo que representan el 55 % de las necesidades hídricas del cultivo del maíz en las condiciones edafoclimáticas de la zona del estudio. En esta propuesta se aprovecha al máximo la lluvia ocurrida en el periodo de riego

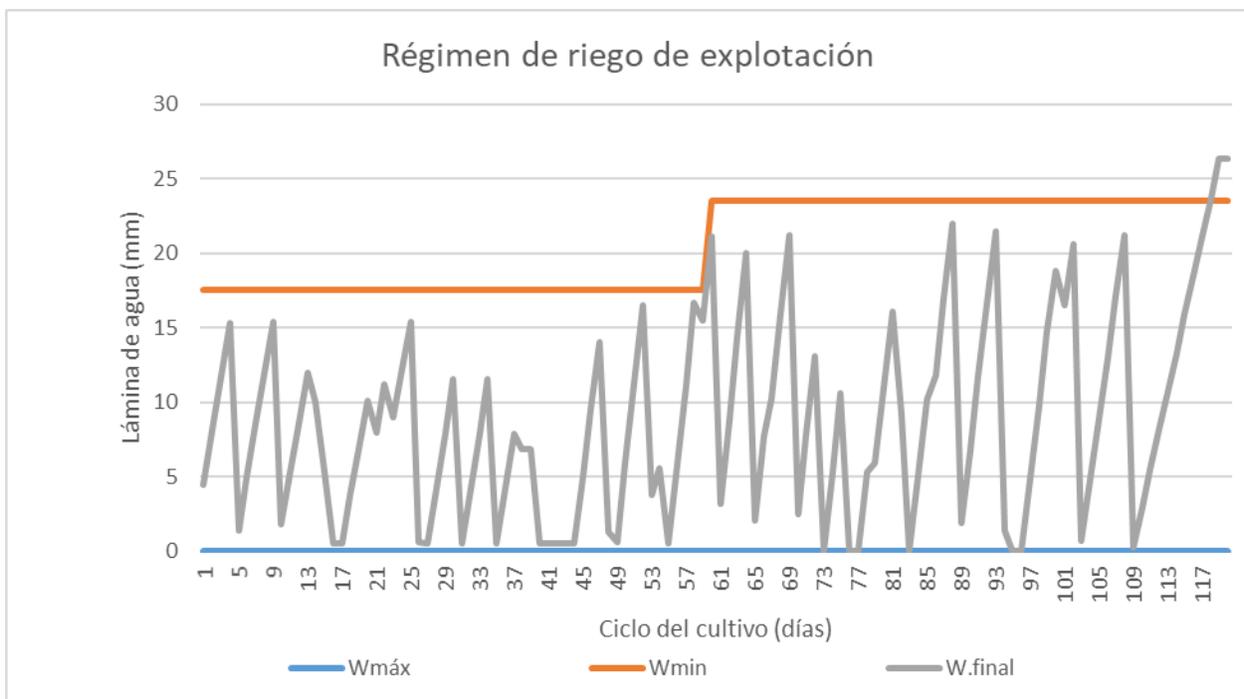


Figura 7: Régimen de riego propuesto

La uniformidad y eficiencia del riego en la máquina de pivote central # 4

En la evaluación de la uniformidad del riego y eficiencia en el uso del agua se realizaron varias acciones desde la fase de preparación hasta el análisis e interpretación de los resultados.

Un primer recorrido permitió observar y comprobar las características del sistema de riego con el cual se realizó el trabajo:

- Máquina de pivote central.
- Marca: Western
- Radio de riego: 250 m. (área 19,63 ha)
- Modelo: AER 11021
- No de boquilla: 155 boquillas.
- Altura de la boquilla: 1.50 m aproximadamente con ligeras diferencias entre ellas

Al comprobar la distribución de boquillas se observó que existía un número considerable de estas mal ubicadas, además de faltar 2 con su respectivo bajante.

De acuerdo con Gómez (2015), el primer factor que influye en la uniformidad de los pivotes es el correcto diseño y el adecuado mantenimiento a partir de la carta de emisores.

Con el empleo del manual del fabricante (carta de emisores) se redistribuyó de acuerdo al calibre de cada una apoyándose en el color para poder realizar correctamente cualquier medición y se colocó las dos boquillas que faltaban.

Para evaluar la pluviometría de la máquina se realizaron cuatro mediciones a diferentes regulaciones y en diferentes días y horarios. La primera prueba se realizó el al 40 % de su velocidad máxima de giro según el programa de riego correspondiente a esta máquina, el cual aparece en el anexo 1. Para la segunda medición el pivot se programó al 60 %, en la tercera al 30 % y al 50 % en la cuarta con lo cual se logra hacer las observaciones en las regulaciones más usuales en esta máquina y para este cultivo según el criterio de los regadores.

Las condiciones climáticas que más afectaron fueron las altas temperaturas y la velocidad del viento, sobre todo este último que alcanza valores entre 3 y 7 m.s⁻¹, los

que son altos, según Montero (2005) y por consiguiente afectan la uniformidad del riego.

Durante los ensayos se observaron varias anomalías que afectan el correcto funcionamiento del sistema, entre ellos, salideros en las juntas de los emisores y en las uniones de la tubería, la rotura y obstrucción de boquillas, provocando así que el agua distribuida en esa zona era mayor o no con respecto a la requerida, lo que quedó demostrado en los valores de las láminas recogidos en los pluviómetros.

En al menos una unión entre tubería se produce un salidero considerable para falta de la junta y la mala sujeción. Otra observación que se hizo fue la obstrucción en el último tramo de la maquina donde el monte (marabú, hierba de guinea y otras plantas) se han apoderado de este tramo de la máquina, también en algunos de los cuadrantes se vio en el terreno zonas con encharcamientos.

Una vez terminada cada evaluación pluviométrica y registrados los datos se procesó la información con el paquete Pluviopivot cuyos resultados por evaluación se presentan en la tabla 5 y con todos los detalles, incluyendo la gráfica de la lámina de agua en función de la distancia, se muestran en el anexo 2.

Todas las evaluaciones reflejan en los diferentes indicadores valores que permiten evaluar la Uniformidad y calidad del riego muy cercanas a la categoría de bien a partir de los criterios de Tarjuelo (2005) que estableció que se considera bueno el riego con máquinas de pivote central cuando se logran CU entre 80 y 90 % y la UD superior al 70 %

El coeficiente de uniformidad calculado refleja las insuficiencias que presentó la aplicación del riego, principalmente la influencia negativa del viento, tupiciones en las boquillas y un salidero en la unión de dos tubos que nunca fue resuelto.

Otros estudios realizados a estas máquinas, como los de Pérez et al., (2021) han reportado mejores resultados en condiciones distintas, sobre todo con velocidades del viento que no sobrepasan los $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Clemente (2018) obtuvo en la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú” indicadores superiores tanto en CU como en UD y el CV con una máquina del modelo TUSA donde el viento no fue una condicionante.

Tradicionalmente se ha considerado que cada sistema de riego está caracterizado por determinados valores de uniformidad y eficiencia. Sin embargo, Keller *et al.*, (1981) indicaron que la uniformidad depende mucho más del manejo de los sistemas de riego que del tipo de sistema utilizado.

Tabla 5: Evaluaciones pluviométricas

Evaluación	Regulación (%)	Lámina a entregar	LMP	LMP % menos regado	25 CU (%)	UD (%)	CV (%)	Velocidad del viento (m.s ⁻¹)
1	40	6,8	9.73	5.9	75.9	61.3	32.2	7
2	60	4,5	6.76	4.4	77.1	64.4	30	6
3	30	9,1	11.8	7.9	79.6	66.5	25.5	3
4	50	5,5	6.20	4.3	79.8	69.1	27.5	3.6

Fuente: a partir del procesamiento con el paquete Pluviopivot

3.2. Relación entre la satisfacción de necesidades hídricas del cultivo mediante el riego y el rendimiento agrícola y de uso del agua obtenido.

El cultivo del maíz a pesar de su importancia y su demanda popular no se encuentra entre los considerados principales en esta unidad de producción. La superficie destinada al mismo es baja y sus rendimientos también se pueden considerar como bajos si tenemos en cuenta el comportamiento del mismo desde el 2007 hasta el 2016 como muestra la figura 8 (no se pudo acceder a los datos de los años del 2017 al 2020), solo en el 2010 y 2011 se obtienen valores relativamente altos

Aunque no es objetivo de este trabajo si es oportuno señalar que la atención agrotécnica al cultivo se vio limitada a dos aplicaciones de fertilizantes (mediante el fertirriego) y una labor de aporque

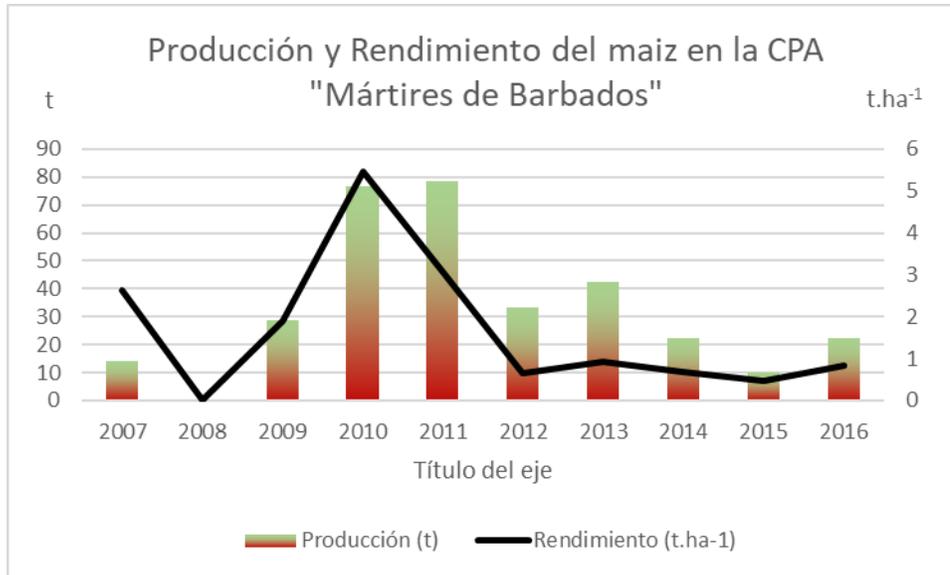


Figura 8: Producción y rendimiento del maíz en el periodo 2007-2016 en la CPA "Mártires de Barbados"

La productividad del agua es un elemento clave en el planeamiento estratégico de los recursos hídricos a largo plazo. Cuando el manejo del agua se hace basado en parámetros de productividad se puede mejorar su uso, incluyendo el ahorro en aquellos sistemas donde se consume cantidades excesivas de agua

El estudio de las funciones agua rendimiento y su uso dentro de la planificación del agua es una vía estratégica importante para lograr el incremento de la productividad (Montaña, 2018)

Con la información sobre el consumo de agua, agua aplicada por riego, las precipitaciones y el rendimiento del cultivo obtenido durante el período analizado en la CPA Mártires de Barbados se evaluó la productividad del agua.

Como refleja la tabla 6, el rendimiento agrícola obtenido en el área de estudio también es bajo (1,58 t.ha⁻¹) y en ello influyen muchos factores incluido el riego

Una baja eficiencia en los sistemas de riego afecta a los rendimientos agrícolas Camejo *et al.* (2017); Zhuo y Hoekstra (2017).

Tabla 6: Rendimiento agrícola y norma de riego aplicada

cultivo	Agua aplicada (m ³ .ha ⁻¹)	Área sembrada (ha)	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)	Fecha de siembra	Fecha de cosecha
Maiz	3269	9.81	15777	25/05/2021	22/09/2021

Una dificultad encontrada durante la realización del trabajo fue que la CPA Mártires de Barbados no dispone de un registro, a nivel de la entidad o de las UBPC en los que se asiente el agua aplicada durante el riego de los cultivos, lo cual hace difícil la obtención de los datos primarios para la realización de este tipo de trabajo.

En el periodo estudiado las lluvias en la zona fueron abundantes y de estas una parte se consideran aprovechables al elevar la humedad del suelo y suplen una parte importante de la demanda total de agua del cultivo, como se refleja en la tabla 7

Tabla 7 Precipitaciones en el período, agua aplicada al cultivo, precipitaciones efectivas y agua total aplicada a los cultivos.

Cultivo	Norma total (m ³ .ha ⁻¹)	Precipitación caída (mm)	Precipitación aprovechada (m ³ .ha ⁻¹)	Agua total recibida por el cultivo (m ³ .ha ⁻¹)
Maiz	3269	600.4	2288	5557

Relación entre el rendimiento agrícola del cultivo y el agua total aplicada

Para el cultivo del maíz la norma neta de agua de riego es de 4600 m³.ha⁻¹ (Duarte *et al.*, 2015), sin embargo en esta investigación el agua aplicada fue de 3269 m³.ha⁻¹,

considerando que es un año lluvioso en el que se produjeron abundantes precipitaciones que permitieron el ingreso por concepto de lluvia aprovechable, de 2288 ($m^3 \cdot ha^{-1}$)

Con esto elemento se puede inferir que la productividad del agua, a partir del volumen de producción por cada m^3 de agua aplicado con el riego es alto al alcanzar valores de $4,82 \text{ Kg} \cdot m^{-3}$, sin embargo, cuando se analiza igual indicador, pero respecto al total de agua recibida incluyendo las precipitaciones efectivas entonces el valor es bajo con solo $2,83 \text{ Kg} \cdot m^{-3}$ como muestra la tabla 8. Resultados similares fueron obtenidos por Hayashi (2021) en varios de los tratamientos estudiados

Tabla 8: Productividades agronómicas del agua, el agua aplicada, el rendimiento de los cultivos y las precipitaciones efectivas.

cultivo	Pe ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	R ($Kg \cdot ha^{-1}$)	Agua aplicada ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	WPI ($kg \cdot m^{-3}$)	WPT ($kg \cdot m^{-3}$)
Maíz	2288	15777	3268	4,82	2.83

3.3. Propuesta de mejoras en la gestión del riego que se aplica en la CPA Mártires de Barbados, que permitan la satisfacción de las necesidades hídricas de los cultivos, que se traduzcan en buenos rendimientos agrícolas

Estudios recientes han caracterizado el capital humano con que cuenta esta forma productiva y que sirven de base para establecer las principales acciones que a juicio de este autor pueden contribuir a mejorar los resultados que de los sistemas de riego se esperan

Según Rodríguez (2020), esta CPA se subordina metodológicamente a la UEB Agropecuaria Cienfuegos de la Delegación Municipal Cienfuegos, del Ministerio de la Agricultura, cuenta con una fuerza laboral compuesta con un total de 81 trabajadores, que se desglosan según su categoría ocupacional de la forma siguiente: un dirigente (1.2%), dos administrativos (2.4%), tres técnicos (3.7%), 21 de servicios (25.9%) y 54 directos a la producción (66.1%).

Por otro lado, García (2020), señaló que dentro de los trabajadores de servicios se incluyen los obreros agrícolas y el personal técnico directo a la producción agrícola, que representa el 90% del total de trabajadores, aun así, constituye un déficit de fuerza de trabajo en la atención de los cultivos. Es decir que la unidad requiere de más personal de trabajo para cumplir los objetivos de la unidad, por lo que se deben trazar estrategias de motivación o incentivos para la captación de fuerza laboral económicamente activa, sobretodo calificada, como son el un aumento salarial, reconocimiento a los trabajadores destacados y viajes a la playa o a algún lugar recreativo.

A partir del trabajo desarrollado, de las observaciones y el intercambio con trabajadores y directivos de la CPA se identificó las principales problemáticas que a juicio del autor están limitando la efectividad del riego a pesar de contar con máquinas de riego de altas prestaciones y que por lo general reportan elevados valores productivos. La tabla 9 muestra las principales acciones que se proponen realizar para resolver las insuficiencias a partir de las causas que provocan las mismas. El plan no será una camisa de fuerza por lo que el mismo puede perfectamente ajustar a los nuevos cambios y resultados que se vayan obteniendo e incorporar nuevas acciones en la medida que se consideren necesarias o surjan nueva problemáticas

Tabla 9: Plan de mejoras para el riego en la CPA “Mártires de Barbados”

Área de actuación	Problemas	Causas	Acciones	Fecha de cumplimiento
Calificación técnica	Bajo nivel de conocimiento para la planificación, ejecución y evaluación del riego	Bajo nivel de fuerza técnica calificada Existencia de ofertas laborales más atractivas que captan al personal joven y calificado	Realizar levantamiento de las demandas de capacitación de los técnicos y obreros que laboran en la actividad de riego en la UBPC	noviembre 2021
			Elaborar plan de capacitación y coordinar su implementación	enero 2022
			.Establecer intercambio sistemático entre el personal que utiliza la tecnología de riego pivot en la CPA y en centros productivos de la provincia con más experiencia en el manejo de la tecnología	2 veces al año
Del estado técnico y	No se logran los niveles de uniformidad	El estado técnico de los sistemas se califica de	Levantamiento de las necesidades de cada sistema	diciembre 2021

funcionamiento de los sistemas	y eficiencia del riego No se atienden las exigencias reales de riego de cada cultivo	regular por falta de partes y piezas para el mantenimiento y la reparación	para que esté según catálogo del fabricante	
		Se desconoce las necesidades hídricas de los cultivos	Desarrollar actividades demostrativas con la metodología para evaluar sistemas de riego	enero-febrero 2022
		No se aplica el régimen de riego de los cultivos	Introducir de manera experimental el uso de programas para determinar las necesidades hídricas reales de los diferentes cultivos	enero-julio 2022
			Realizar evaluación a todos los sistemas para conocer los parámetros reales de explotación	febrero-marzo 2022
Integración de personal joven y la mujer a la actividad de riego.	Bajo por ciento trabajadores jóvenes y mujeres en la CPA	Existencia de ofertas laborales más atractivas que captan al personal joven y calificado	Hacer levantamiento del personal joven y femenino de la entidad y comunidad con posibilidades de incorporación a la actividad	noviembre 2021-enero 2022
			Efectuar talleres de extensión para promover la participación del	trimestralmente

			personal joven y de las mujeres en la actividad de riego	
			Realizar con los jóvenes y mujeres visita de campo a áreas productivas con buenos resultados en la actividad de riego	semestralmente
Ambiente laboral y motivación del personal que labora en la actividad	Bajo nivel de motivación de los trabajadores	Inexistencia de un sistema de atención y motivación a los trabajadores	Promover la estimulación moral y material del personal	enero 2022
			Revisar con la junta el sistema de pago	diciembre 2021
		El sistema de pago vigente no estimula los incrementos productivos	Dar seguimiento a indicadores de eficiencia productiva	Con el balance anual
			Ampliar relaciones productores-investigadores	Periódicamente
			Promover participación de productores en encuentros con especialistas del IAGRIC,	Dos veces al año

			MINAG, ANAP, UCf	
			Seguimiento sistemático a indicadores de calidad del riego y productividad del agua	Al inicio y final del ciclo de cada cultivo

CONCLUSIONES

1. Las dosis de riego aplicadas al maíz no se corresponden con las necesidades hídricas del cultivo y se ven afectadas por baja uniformidad de la máquina que no alcanza el 80 %
2. Las irregularidades en el manejo del riego en cuanto al momento y la dosis afectaron el rendimiento agrícola ($1,57 \text{ t. ha}^{-1}$) y la productividad del agua con $2,83 \text{ kg}$ por cada metro cubico de agua usado por el cultivo
3. implementar un plan de mejoras que incluye la formación de recursos humanos, la disponibilidad técnica de los sistemas, el vínculo con instituciones permitirá resolver las insuficiencias que limitan la obtención de altos rendimientos en la CPA “Mártires de Barbados”.

RECOMENDACIONES

1. Dar continuidad a este estudio con la incorporación de nuevos cultivos y variedades y considerando las diferentes épocas de siembra
2. Evaluar los resultados de la implementación del plan de mejoras con un análisis comparativo de los resultados que se van obteniendo respecto al momento inicial en que comienza a implementarse

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, G. R.; Keller, J.; Martin, D. (2000). Center Pivot System Design. The irrigation association, Second Edition, Sitio Web: www.Irrigation.Org.Agosto
- Allen, R. A., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, FAO Riego y Drenaje 56, Roma, Italia.
- Amiri, E., Abdzad., Gohari, A. y Esmailian, Y. (2012). Effect of irrigation and nitrogen on yield, yield components and water use efficiency of eggplant. *African Journal of Biotechnology*, 11(13), 3070-3079.
- Bozkurt Çolak, Y. (2019). Effects of Irrigation Frequency and Level on Yield and Stomatal Resistance of Eggplant (*Solanum melongena* L.) Grown in Open Field Irrigated with Surface and Subsurface Drip Methods. *Applied Ecology and Environmental Research* 17(6), 15585-15604.
- Bremond, B. & B. Molle. (1995) Characterization of rainfall under center pivot: influence of measuring procedure, *J. Irrig. Drain. Eng.*, 121(5), 347-353.
- Ciencias Técnicas Agropecuarias. (2015). 24(4), 57-63.
- Cisneros Zayas, E., y Placeres Miranda, Z., y Jiménez Espinosa, E. (2013). Beneficios obtenidos con la implementación del servicio de asesoramiento al regante (SAR) en diferentes zonas regables de la provincia Mayabeque, Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, 3(2), 46-52. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586262037007>
- FAO. Food and Agricultural Organization. FAO & Roma. (2002). Evapotranspiración, 2
- FAOSTAT. Database Results. Food Agricultural Organization. (2006). <http://faostat.fao.org>
- Gómez, A.O. (2015). Evaluación de la influencia del módulo de boquillas en la calidad del riego en las máquinas de pivote central. (Tesis de Especialista) Universidad de Ciego de Ávila.

- González, F., Herrera, J., López, T. & Cid, G. (2011). Respuesta del sorgo al riego en dos épocas de siembra. Función agua rendimiento. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(1), 40-46.
- González, F., Herrera, J., López, T. & Cid, G. (2010). Productividad del agua en el cultivo de maíz en condiciones del sur de La Habana. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, Universidad Autónoma Chapingo, 2(2), 81-86.
- González, F., Herrera, J., López, T. & Cid, G. (2011). Productividad agronómica del agua. *Ingeniería Agrícola*, 1(1), 40-44.
- González, F., Herrera, J., López, T. & Cid, G. (2011). Respuesta de los cultivos al déficit hídrico. *Ingeniería Agrícola*, 1(1): 19-23.
- González, F., Herrera, J., López, T. & Cid, G. (2012). Base de datos sobre necesidades hídricas. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(2), 42-47.
- González, F., Herrera, J., López, T. & Cid, G. (2013). Funciones agua rendimiento para 14 cultivos agrícolas en condiciones del sur de La Habana. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(3), 5-11.
- González, F., Herrera, J., López, T. & Cid, G. (2014). Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3), 12-17.
- González, F., Herrera, J., López, T. (2010). Productividad del agua en maíz, soya y sorgo en suelo Ferralítico Rojo del sur de La Habana. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(1), 65-72.
- González, R.F., López, S.T. & Herrera, P.J. (2015). Indicadores de productividad del agua por cultivos y técnicas de riego en Cuba.
- Heermann, D.F., Hein, P. R. (1968). Performance characteristics of self-propelled Center pivot sprinkler irrigation Systems. Trans of the ASAE 11-15. USA.
- Hervis G. (2018). Estimación de la Evapotranspiración de referencia (Eto) empleando el software Cropwat Versión 8.0. Centro de Investigaciones Hidráulicas. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría.

- Instituto de suelos. (1986) Ministerio de la Agricultura, estudio de Suelos, 1:25 000 de la provincia de Cienfuegos, II Clasificación genética de los suelos de Cuba.
- Keller, J. & Bliesner, R. D. (1990) *Sprinkler and trickle irrigation*, Van No strand Reinhold.
- Montero, J. F. (2005). Recomendaciones para un adecuado diseño y manejo de los sistemas de riego por aspersión. Albacete. España: Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla.
- Opoku Darko, R., Yuan, S., Kumi, F. y Quaye F. (2019). Effect of Deficit Irrigation on Yield and Quality of Eggplant. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*, 4, 1325-1333.
- Tarjuelo M. B., J. M. (1999). Capítulo 5. Sistemas Autopropulsados de riego por aspersión. Mundi Prensa. El Riego por Aspersión y su tecnología. Madrid, España, 2, 250-287.

ANEXOS

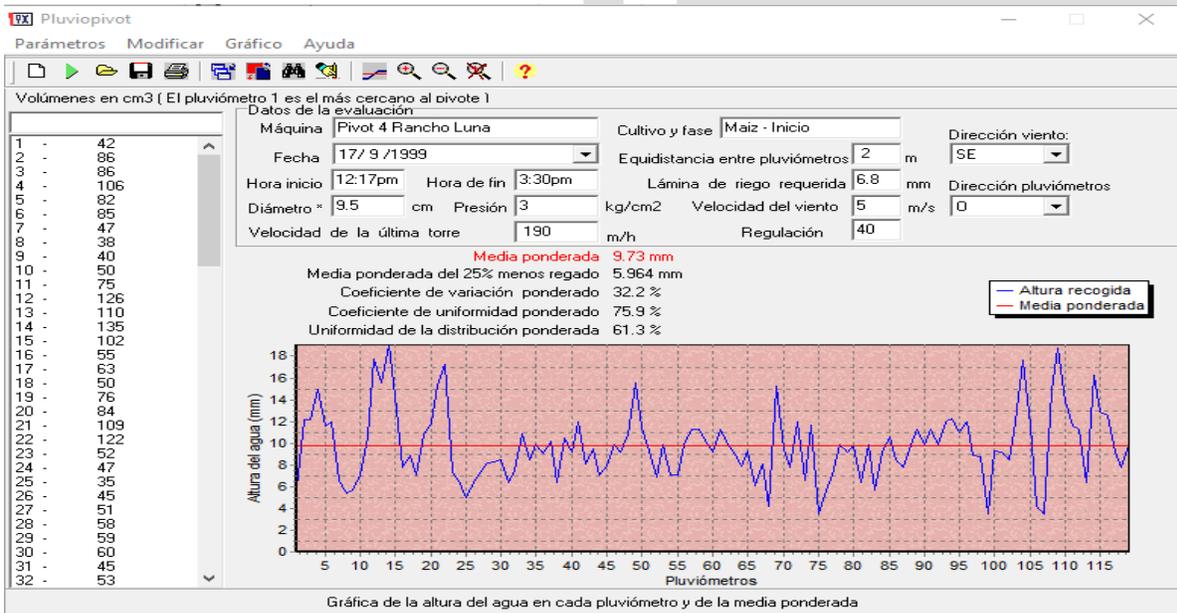
Anexo 1: Temporizador de riego de la máquina de Pivote Eléctrico # 4

Programa de Riego de la Máquina de Pivote Eléctrico # 4						
%	Radio de riego (m)	Radio de la torre final (m)	Velocidad máxima (m.h ⁻¹)	Caudal (L.s ⁻¹)	Norma (m ³ .ha ⁻¹)	Tiempo de giro mínimo (h)
	250.00	225.00	190.00	25.00	34.11	7.44
	Norma Bruta (m ³ .ha ⁻¹)	Norma Neta (m ³ .ha ⁻¹)	Tiempo Giro (h)	Tiempo por Cuad (h)	Cap. Riego (ha.h ⁻¹)	Area (ha)
						19.63
10	341	273	74.37	18.59	0.26	Osmani García
12	284	227	61.97	15.49	0.32	
14	244	195	53.12	13.28	0.37	
16	213	171	46.48	11.62	0.42	
18	189	152	41.32	10.33	0.48	
20	171	136	37.18	9.30	0.53	
22	155	124	33.80	8.45	0.58	
24	142	114	30.99	7.75	0.63	
26	131	105	28.60	7.15	0.69	
28	122	97	26.56	6.64	0.74	
30	114	91	24.79	6.20	0.79	
32	107	85	23.24	5.81	0.84	
34	100	80	21.87	5.47	0.90	
36	95	76	20.66	5.16	0.95	
38	90	72	19.57	4.89	1.00	
40	85	68	18.59	4.65	1.06	

42	81	65	17.71	4.43	1.11	
44	78	62	16.90	4.23	1.16	
46	74	59	16.17	4.04	1.21	
48	71	57	15.49	3.87	1.27	
50	68	55	14.87	3.72	1.32	
52	66	52	14.30	3.58	1.37	
54	63	51	13.77	3.44	1.43	
56	61	49	13.28	3.32	1.48	
58	59	47	12.82	3.21	1.53	
60	57	45	12.39	3.10	1.58	
62	55	44	11.99	3.00	1.64	
64	53	43	11.62	2.91	1.69	
66	52	41	11.27	2.82	1.74	
68	50	40	10.94	2.73	1.80	
70	49	39	10.62	2.66	1.85	
72	47	38	10.33	2.58	1.90	
74	46	37	10.05	2.51	1.95	
76	45	36	9.79	2.45	2.01	
78	44	35	9.53	2.38	2.06	
80	43	34	9.30	2.32	2.11	
82	42	33	9.07	2.27	2.16	
84	41	32	8.85	2.21	2.22	
86	40	32	8.65	2.16	2.27	
88	39	31	8.45	2.11	2.32	

90	38	30	8.26	2.07	2.38	
100	34	27	7.44	1.86	2.64	

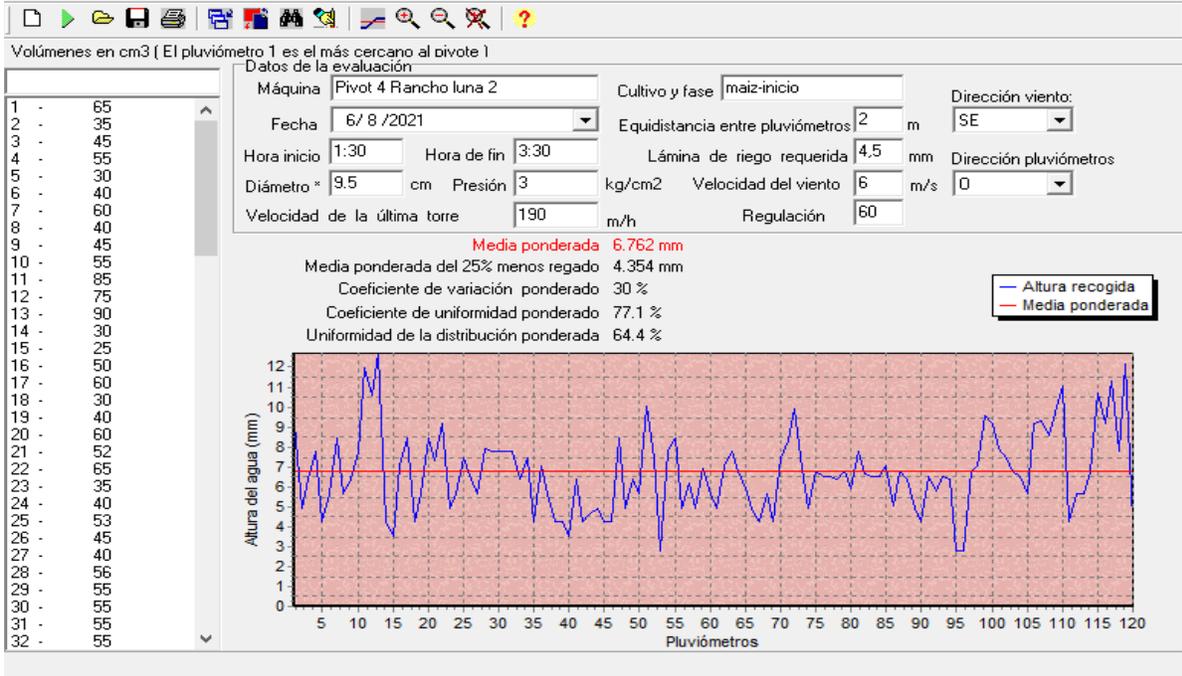
ANEXO 2
Primera evaluación



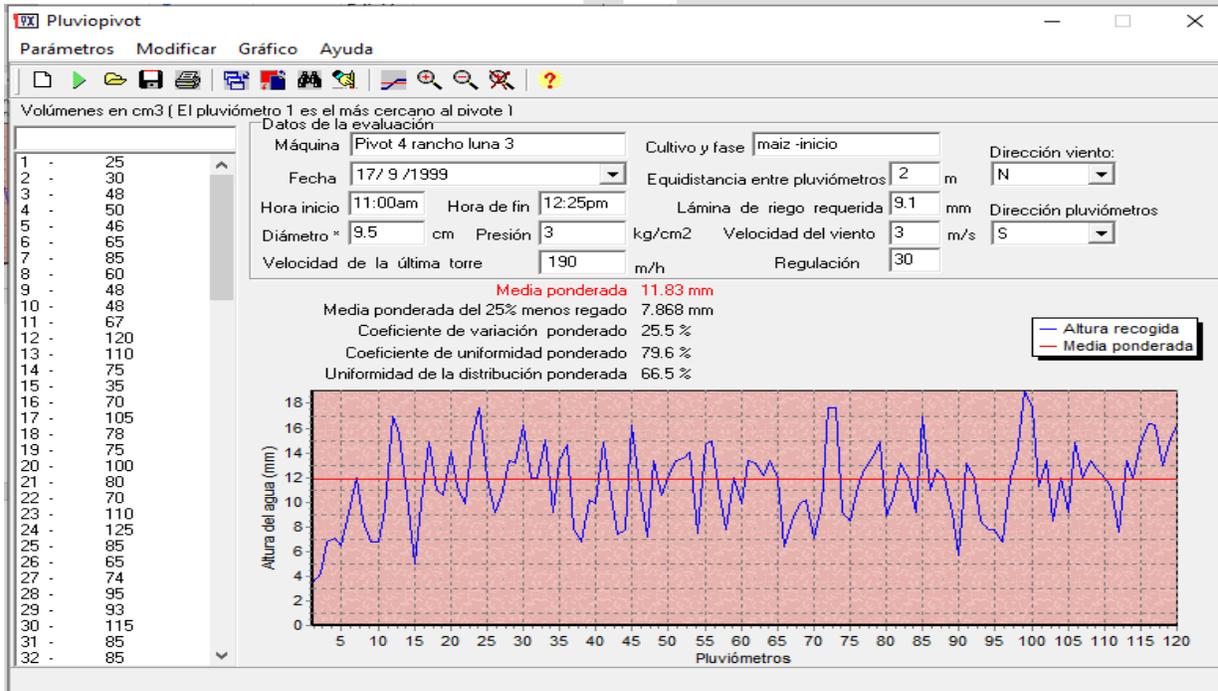
Segunda evaluación

Pluviopivot

Parámetros Modificar Gráfico Ayuda



Tercera evaluación



Cuarta evaluación

