



**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRONOMO**

TÍTULO: Determinación del régimen de riego de explotación del cultivo del maíz (*Zea mays* L.). Una propuesta para la Empresa Agropecuaria Horquita

AUTOR: Dael Jiménez Solís.

TUTOR: Reinaldo Pérez Armas

Diciembre, 2023

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el régimen de riego de explotación para el cultivo del maíz, variedad H-Ame 15, en la finca “La Prosperidad” de la Empresa Agropecuaria Horquita se desarrolló la presente investigación en el periodo comprendido de enero 2022 a diciembre 2023 donde se condujo una investigación no experimental. El marco de siembra fue de 0.90 m por 0.25 m. El área está beneficiada por la máquina de pivote central No 2, del modelo Western, con 5 torres y abarca un área de 30,7 ha. Se tomó el IV cuadrante de la máquina en el que se establecieron 6 parcelas de 60 m² (10 m de largo por 6 de ancho), una en cada tramo de máquina, para la toma de muestras. Se determinaron, los parámetros de suelo, cultivo, clima y de la máquina, con los que estableció el momento y la norma de riego requerido por cada fase de desarrollo del cultivo a partir del balance de humedad con el programa CROPWAT 8.0. Como resultados principales se obtuvo que la variedad de maíz H–Ame 15 encontró condiciones idóneas de suelo, clima y riego para expresar su máximo rendimiento potencial, los límites de la humedad óptima calculados son de 996 m³.ha⁻¹ como reserva máxima, 798 m³.ha⁻¹ como reserva mínima y como lámina de riego máxima 198 m³.ha⁻¹, el manejo del riego permitió incrementar el aprovechamiento de las lluvias y reducir el volumen de agua aplicado por riego hasta el 43 % de la que consumió el cultivo.

Palabras clave:

Lámina de riego, lluvia aprovechable, momento de riego, régimen de riego

ABSTRACT

With the objective of determining the exploitation irrigation regime for the cultivation of corn, variety H-Ame 15, on the “La Prosperidad” farm of the Horquita Agricultural Company, this investigation was carried out in the period from January 2022 to December 2023. where non-experimental research was conducted. The planting frame was 0.90 m by 0.25 m. The area is benefited by the No. 2 central pivot machine, Western model, with 5 towers and covers an area of 30.7 ha. The IV quadrant of the machine was taken, in which 6 plots of 60 m² (10 m long by 6 m wide) were established, one in each section of the machine, for sampling. The soil, crop, climate and machine parameters were determined, with which the timing and irrigation standard required for each phase of crop development were established based on the moisture balance with the CROPWAT 8.0 program. The main results were that the corn variety H–Ame 15 found ideal soil, climate and irrigation conditions to express its maximum potential yield. The limits of optimal humidity calculated are 996 m³.ha⁻¹ as a maximum reserve, 798 m³.ha⁻¹ as a minimum reserve and as a maximum irrigation sheet 198 m³.ha⁻¹, irrigation management allowed increasing the use of rain and reducing the volume of water applied by irrigation to 43% of that consumed by the crop.

Key words

Irrigation sheet, usable rain, irrigation time, exploitation irrigation regime

ÍNDICE

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1. Suelo, clima y necesidades hídricas	4
1.1.1. El suelo y su influencia en el desarrollo de los cultivos.....	4
1.1.2. Recursos hídricos, cultivo y su relación con el clima.....	5
1.1.3. Necesidades hídricas de los cultivos	5
1.2. Propiedades hidrofísicas del suelo.....	8
1.2.1. capacidad de campo	8
1.2.2. Punto permanente de marchitez	8
1.2.3. Densidad aparente.....	9
1.3. Momento y dosis de riego. Programación	9
1.3.1. Balance de la humedad del suelo	10
1.3.2. Métodos para determinar el momento de riego.....	11
1.3.3. Programación del riego	12
Capítulo II. MATERIALES Y MÉTODOS	18
2.1. Caracterización de la finca “La Prosperidad” de la UBPC “Cuba Libre”	19
2.2. Determinación de forma experimental in situ de los parámetros del suelo y del cultivo de maíz, según las etapas de crecimiento	20
2.3. Establecimiento del momento y la norma de riego requerido para el cultivo en cada una de las fases de desarrollo del mismo a partir del balance de humedad	21
Capítulo III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
3.1. Caracterización de la finca “La Prosperidad” de la UBPC “Cuba Libre”	24

3.2. Determinación de forma experimental in situ de los parámetros del suelo y del cultivo de maíz, según las etapas de crecimiento	28
3.3. Establecimiento del momento y la norma de riego requerido para el cultivo en cada una de las fases de desarrollo del mismo a partir del balance de humedad	32
CONCLUSIONES	40
RECOMENDACIONES	41
BIBLIOGRAFÍA.....	42
ANEXOS.....	46

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 (Bozkurt-Colak, 2019; Opoku et al., 2019)

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.

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).

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.

El Estado Cubano, ha invertido cuantiosos recursos financieros en la ampliación de las áreas bajo riego, este incremento conlleva un aumento en la demanda de agua, el que 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 desconocimiento del nivel de satisfacción de las necesidades hídricas reales del maíz en la Empresa Agropecuaria Horquita ha conllevado a que se apliquen volúmenes de agua superiores a los que demanda el cultivo en cada una de sus fases de desarrollo y a una explotación incorrecta de los sistemas de riego instalados.

Problema Científico

Se desconocen las necesidades reales agua del cultivo del maíz, variedad H-Ame 15, en las condiciones edafoclimáticas de la Empresa de Agropecuaria Horquita en Cienfuegos

Hipótesis

Si se determinan las necesidades hídricas reales del cultivo y la uniformidad con que riega la máquina de pivote central 2 en la finca La Prosperidad de la Empresa Agropecuaria Horquita se podrá establecer el régimen de riego de explotación para el cultivo del maíz, variedad H-Ame 15.

Objetivo general

Determinar el régimen de riego de explotación para el cultivo del maíz, variedad H-Ame 15, en la finca La Prosperidad de la Empresa Agropecuaria Horquita.

Objetivos específicos

1. Caracterizar la finca “La Prosperidad” de la UBPC “Cuba Libre”
2. Determinar in situ los parámetros de suelo, cultivo y de la máquina de riego en la finca “La Prosperidad”, Empresa Agropecuaria Horquita
3. Establecer el momento y la norma de riego requerido para el cultivo en cada una de las fases de desarrollo del mismo a partir del balance de humedad con el programa CROPWAT 8.0

Capítulo I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para que un cultivo exprese los resultados productivos deseados se debe prestar atención a sus exigencias desde la preparación del suelo hasta la cosecha y postcosecha.

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.

1.1. Suelo, clima y necesidades hídricas

1.1.1. El suelo y su influencia en el desarrollo de los cultivos

El suelo es capaz de almacenar una cantidad limitada de agua, y de ésta, solo una parte es utilizada por las plantas. Las plantas a su vez requieren una cantidad adecuada de humedad, la cual varía de acuerdo con la especie y con su estado de crecimiento o desarrollo

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. 2001).

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 uso intensivo 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 niveles de humedad del suelo influyen sobre procesos fundamentales como la fotosíntesis, la respiración y la absorción de nutrientes (Band et al. 1993).

1.1.2. Recursos hídricos, cultivo y su relación con el clima

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).

En la actualidad el cambio climático representa uno de los principales problemas que enfrenta la agricultura, debido a las alteraciones que causa en los patrones climáticos y por tanto en la agroclimatología relacionada con el manejo de las actividades agrícolas (Medina et al, 2016).

Los recursos hídricos disponibles a partir de la infraestructura hidráulica en Cuba, ascienden a 13 904 millones de m³ y los usos predominantes del agua están en la agricultura (55 – 60 %) (República de Cuba, 2015).

En la actualidad, se impone la necesidad del uso sostenible del agua, de la eficiencia en la conducción y distribución, de la disminución de pérdidas (las que alcanzan en algunas zonas hasta 60% de los volúmenes entregados), del reuso, así como de una elevada cultura ambiental hídrica e hidráulica. Por otra parte, los cultivos de regadío producen, en promedio, entre dos y tres veces más que los cultivos dependientes de la lluvia (Martínez, 2007), citado por Hervis et al, (2019), por lo que según los autores las afectaciones potenciales más relevantes para el desarrollo de la agricultura se centran en las variables climáticas como la temperatura y la precipitación, a distintas escalas de tiempo y en dependencia de la región, donde en los cambios locales a futuro aumenta en 1.0°C la temperatura media anual y en 2.0°C la temperatura mínima media anual en el período 1951-2017 (República de Cuba, 2020). Situaciones similares a la de Cuba se aprecian en otros países de la región caribeña y latina, según estudios de la CEPAL (2020).

1.1.3. Necesidades hídricas de los cultivos

El agua, como recurso natural, renovable y finito, patrimonio del Estado, que constituye un derecho de todos los ciudadanos, requiere de especiales normas que regulen su planificación y manejo; porque, además, constituye un elemento esencial para el desarrollo socioeconómico y en definitiva de la vida misma», así se expresaban en julio

pasado las comisiones parlamentarias encargadas de dictaminar sobre el proyecto de Ley de las aguas terrestres (Gaceta Oficial, 2017).

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”. (López, 2021)

La conceptualización de la conservación del recurso agua debe entenderse como un proceso que crezca en varios sectores, por lo que la estrategia debe considerar la parte económica, social, biológica y política. En México la disponibilidad del agua es de 1 700 m³.habitante, sin embargo, el promedio a nivel global es de 400 m³.habitante. En 1950 solamente 9 países sufrieron escasez, mientras, para el año 2025 está planteado que una de cada tres personas vivirá en uno de los 52 países que enfrentará escasez de agua (Consejo Mundial del Agua, 2007).

Se entiende por consumo de agua para un ciclo de cultivo el volumen de agua requerido para el proceso de evapotranspiración, desde la fecha de la siembra o plantación hasta el día de la recolección, cuando los volúmenes de agua son distribuidos de acuerdo a las necesidades, manteniendo el suelo con valores de humedad entre la capacidad de campo y el límite productivo asegurándose el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos”. Por tanto, se puede aceptar que la Evapotranspiración de un cultivo determinado representa las necesidades hídricas de dicho cultivo (Montero, 2000).

A criterio de Montaña (2018) Las necesidades de agua de un cultivo dependen fundamentalmente de los siguientes factores: El clima sobre todo la insolación (horas de sol al día), La temperatura, (del aire), La humedad (del aire) y el viento. Un mismo cultivo tendrá diferentes necesidades en dependencia del clima donde este establecido, por ejemplo, una variedad de maíz sembrada en un clima caliente necesitará más agua que si se siembre en otro lugar, o en el mismo lugar, pero en otra época del año en que el clima sea más fresco. En realidad, la evapotranspiración de los cultivos es variable, aun cuando el clima fuese constante. En primer lugar, varía de acuerdo a la producción en

que sus hojas verdes cubran la parcela, o sea varía de acuerdo al estado de crecimiento de los cultivos. En segundo lugar, depende de la humedad del suelo, ya que el cultivo tratara de reducir su evapotranspiración cuando las raíces encuentren menos agua. En tercer lugar, las características de los cultivos no son iguales.

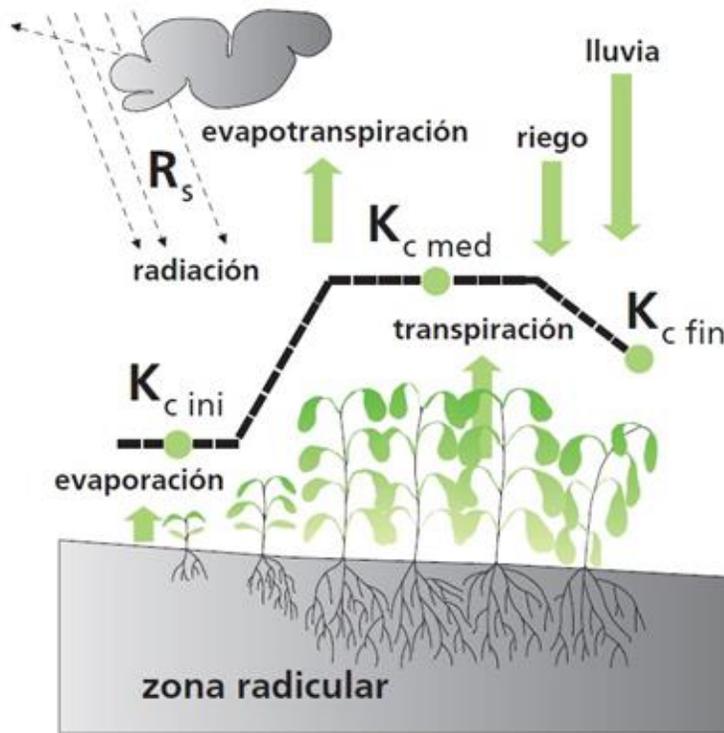


Fig.1: Relación de la evapotranspiración con el desarrollo del cultivo.

El agua es el factor que limita la producción en muchas partes del mundo donde las precipitaciones no son abundantes. Con los incrementos recientes en las demandas de productos agrícolas y las sucesivas crisis alimentarias en los países subdesarrollados, la necesidad de mejorar el uso del agua en la agricultura es una prioridad (Raes et al. 2018).

En Cuba las precipitaciones durante el período seco del año no son suficientes para obtener un desarrollo adecuado de la mayor parte de los cultivos, por lo cual el riego es necesario. Este período coincide con los ciclos completos de muchos cultivos como son la papa, el tabaco y las hortalizas y con el inicio y finalización de otros. Por otra parte,

durante el período lluvioso del año se presentan problemas de drenaje, motivados por las intensas lluvias, que dificultan el normal desarrollo de los cultivos.

1.2. Propiedades hidrofísicas del suelo

Existe una relación entre la producción y el comportamiento espacial de las propiedades hidrofísicas del suelo, siendo un punto de inicio para mejorar los sistemas de manejo prediales precisos, sostenibles y sustentables en el tiempo (Valbuena, et al., 2008). Sin embargo, la mayoría de agricultores desconocen el estado actual de sus suelos.

El estudio de las propiedades hidrofísicas del suelo nos permite determinar su capacidad actual de uso, su incidencia en el sistema de producción y las alternativas de integrar prácticas agronómicas de mantenimiento o recuperación del recurso suelo (Varón Ramírez, 2016).

1.2.1. capacidad de campo

Capacidad de campo - *Soil Drained Upper Limit* (SDUL): Es una característica del suelo que indica el contenido de humedad del suelo que es capaz de retener luego de saturación o de haber sido provisto de agua abundantemente y después dejado drenar libremente, evitando pérdida por evapotranspiración hasta que el potencial hídrico del suelo se estabilice (alrededor de 24 a 48 horas después de la lluvia o riego). Se corresponde aproximadamente al contenido de agua que retiene una muestra de suelo saturada y luego sometida a una tensión de -0,33 bares (Richards y Weaver, 1944).

1.2.2. Punto permanente de marchitez

Punto de marchitez permanente - *Soil Lower Limit* (SLLL): Es una característica del suelo que indica el contenido de humedad del suelo a partir del cual una planta no puede seguir extrayendo agua del suelo y no puede recuperarse de la pérdida hídrica, aunque la humedad ambiental sea saturada. Se estima como el contenido de agua retenido en el suelo tras ser sometido a una tensión de -15 bares.

Agua útil, agua disponible o agua extraíble del suelo: Es el agua que pueden tomar la mayoría de los cultivos y plantas en general, está delimitada por el punto de marchitez permanente y la capacidad de campo. De manera que el agua útil máxima es la diferencia

entre SDUL y SLLL, asimismo, el agua útil en un momento particular es el contenido de agua en el suelo menos SLLL (siempre y cuando no superé al agua útil máxima).

1.2.3. Densidad aparente

Es el peso seco de un suelo dividido el volumen imperturbado de ese suelo. Volumen imperturbado se refiere al que ocupa en el suelo sin ser modificado, es decir, manteniendo su porosidad.

Para determinar la densidad aparente es necesario realizar un mínimo de tres repeticiones para obtener un valor representativo. Seleccione la superficie de suelo a muestrear, ya sea vertical u horizontal. Se introduce la barrena con el cilindro, teniendo cuidado de no compactar el suelo y tener un volumen conocido con la estructura de campo. Se sella herméticamente el cilindro para que no haya pérdida de humedad, y péselo. La muestra se lleva a secar en estufa (110° C) durante 24 horas o hasta peso constante, y determine la humedad. También, determine el volumen del cilindro midiendo el diámetro y la altura del mismo (medidas internas) Se expresa en mega gramos por metro cúbico (Mg m^{-3}) (Flores, L et., al 2010) citado por Arango (2020).

1.3. Momento y dosis de riego. Programación

En el mundo se cultivan aproximadamente 1 600 millones de ha y cerca del 60 % se encuentra en zonas que se ven seriamente afectadas por la sequía, donde el riego puede aumentar de 2 a 3 veces la producción. Sin embargo, los estudios realizados estiman que menos del 20% de las áreas cultivadas son de regadío y en ellas se utilizan aproximadamente $1,5 \times 10^{12}$ m³ de agua al año. La mayoría de los sistemas de riego del mundo están funcionando por debajo de su capacidad y no se ajustan a las necesidades de la agricultura actual. El bajo nivel de productividad del agua asociado a la gestión de estos sistemas conlleva menores oportunidades de usar eficazmente los recursos y obtener rendimientos económicos. En la actualidad, muchas regiones con escasez de agua tienen dificultades para aumentar el suministro para regadío (Montaña, 2018)

Las deficiencias de los índices de humedad pueden ser superadas mediante el empleo de balances hídricos en el suelo, incorporando la variabilidad topográfica y edáfica para evaluar la demanda y la disponibilidad de humedad a escala fina. Un balance de agua

evalúa directamente la demanda evaporativa y la disponibilidad de humedad, bajo las cuales las plantas responden en todas las escalas geográficas.

Una herramienta básica para los estudios de planificación del agua, según Vargas et al (2018), citado por Duarte et al. (2019) y para trazar las estrategias y políticas encaminadas a mitigar y adaptarse a los efectos en las concentraciones de GEI's (Gases de Efecto Invernadero) son los diferentes escenarios de cambio climático, pero con forzamientos radiativos medidos como la cantidad de energía solar absorbida por metro cuadrado sobre la tierra $W.m^{-2}$. Esta será la base a utilizar en los estudios que emprenderá el proyecto, asociado a los recursos hídricos disponibles para el riego y su repercusión en el potencial productivo de diferentes cultivos de interés económico. La existencia de herramientas para evaluar las estrategias de manera anticipada son los modelos de simulación, ya sea en los impactos del cambio climático como en la agricultura (IICA, 2015) y ésta es la fundamentación para evaluar el efecto del cambio climático sobre los recursos hídricos para la obtención de una producción sostenible

1.3.1. Balance de la humedad del suelo

El balance de agua en el suelo, consiste en evaluar los flujos de agua que entran y salen de la zona radical del cultivo dentro de un determinado periodo de tiempo. El riego (R) y la precipitación (P) proporcionan agua a la zona radicular. Parte de estos ingresos pueden perderse por escurrimiento superficial (ES), y percolación profunda (D) la cual eventualmente recargará la capa freática. El agua también puede ser transportada hacia la superficie mediante capilaridad (C) desde la capa freática sub-superficial hacia la zona de raíces, o ser incluso, transferida horizontalmente por flujo sub-superficial hacia dentro (FSin) o fuera (FSout) de la zona radicular (ΔFS) (Machado, 2016). Sin embargo, excepto bajo condiciones de pendientes pronunciadas, normalmente los valores de FSin y FSout son mínimos y pueden no ser considerados.

Para las condiciones de Cuba según Pacheco et al. (1995) citado por Machado, (2016).), este aporte de agua no es frecuente. Únicamente cuando la capa de aguas freáticas está a menos de 3.0 m de la superficie del suelo, puede ascender hasta la zona radical una cierta cantidad de agua por capilaridad; y en último caso es de importancia revisar la calidad del agua freática en lo relativo a la presencia o no de sales.

En cualquier caso, el cálculo teórico de este ingreso de agua a través de los poros capilares es bastante inexacto y se calcula como por ciento de la evapotranspiración.

Si todos los otros flujos aparte de la evapotranspiración pueden ser evaluados, esta se puede deducir a partir del cambio en el contenido de agua en el suelo (ΔSW) a lo largo de un periodo de tiempo:

$$ET = R + P - ES - D + C \pm \Delta FS \pm \Delta SW$$

Donde:

ET: Evapotranspiración (mm d-1)

R: Aporte de agua por riego (mm)

P: Precipitación (mm)

ES: Escurrimiento superficial (mm)

D: Percolación profunda (mm)

C: Capilaridad (duda)

ΔSW – Variación de la zona radical (cm)

ΔFS : Variación en el contenido de agua en el suelo (mm)

Como se ha planteado anteriormente el flujo sub-superficial, la percolación profunda y la capilaridad desde la capa freática son difíciles de medir, y pueden no considerarse en periodos cortos de tiempo. Por lo que solo se puede dar estimaciones de ET para periodos largos de tiempo del orden de una semana o diez días (Allen et al., 2006).

1.3.2. Métodos para determinar el momento de riego

El balance hídrico representa la valoración del agua en el suelo, en un intervalo de tiempo determinado, generalmente a través del año. Se valora, como en cualquier balance, por los aportes, pérdidas y retenciones.

Podemos encontrar diversas formas para estimar el contenido de agua en suelos, todos los métodos usan una propiedad física que cambia con la humedad como el peso del suelo, tensión del agua dentro del suelo, humedad del aire dentro del suelo, constante

dieléctrica del suelo, resistencia eléctrica del suelo textura del suelo, energía necesaria para cambiar la temperatura del suelo, entre otros.

Existen diferentes tipos de métodos para la medición de humedad del suelo, métodos directos que miden la cantidad de agua en el suelo, métodos indirectos que calculan la humedad mediante un ajuste entre la humedad y una propiedad que es más fácil de medir como la constante dieléctrica del suelo, la gran mayoría de los métodos son indirectos.

Método gravimétrico: este método es un método destructivo, consiste en extraer una muestra del suelo y pesarla (M_t), se procede a secar en un horno a 105° y posteriormente se pesa la muestra seca (M_s). Unidad gravimétrica (W)

El método gravimétrico es el más exacto de todos, de hecho, se usa para calibrar a los demás.

Desventajas: necesita mucho tiempo, es costoso y no es viable para el monitoreo ya que se extrae una muestra del terreno y no hay posibilidad de repetir la medida sobre la misma muestra.

1.3.2.1. Método gravimétrico

El método gravimétrico es el único método directo de medición de la humedad del suelo. Dicho método consiste en tomar una muestra de suelo, pesarla antes y después de su desecado y calcular su contenido de humedad. La muestra de suelo se considera seca cuando su peso permanece constante a una temperatura de 105°C . Se han construido numerosos tipos de equipo de muestreo, así como hornos de secado y balanzas especiales, para ser utilizados en esta determinación. El método gravimétrico es el más preciso para medir el contenido de humedad del suelo y resulta necesario para calibrar el equipo utilizado en los demás métodos. Sin embargo, no puede usarse para obtener un monitoreo continuo de la humedad del suelo de un lugar determinado, porque es necesario extraer muestras del suelo para su análisis en el laboratorio (Flores & Alcalá, 2010) citado por Arango (2020).

1.3.3. Programación del riego

La programación de riego es una metodología que permite determinar el nivel óptimo de agua a aplicar en cada período fenológico del cultivo, de acuerdo a las interacciones

específicas de suelo, planta y clima; las cuales actualmente son integradas a través de modelos biomatemáticos.

La optimización de esta programación puede hacerse con criterios agronómicos muy diferentes, dependiendo, en primera instancia, del nivel al que se analiza el problema. Atendiendo a los objetivos perseguidos ésta puede llevarse a cabo con fines puramente técnicos, económicos o, también con fines ambientales. Según Tarjuelo (2005) lo más frecuente, dentro del marco y concepto de la Agricultura Sostenible, es que se combinen los tres criterios. Para programar el riego es esencial estimar tanto la evapotranspiración real del cultivo, como la cantidad de agua que puede almacenar el suelo en la zona de raíces. Es entonces este, un procedimiento que permite establecer el momento oportuno del riego y la cantidad exacta de agua a aplicar en cada período fenológico. Sin embargo, esta técnica requiere de la calibración local de algunos parámetros incorporados en el modelo matemático tales como coeficiente de cultivo, criterio de riego y componentes del balance de energía. A nivel mundial, esta tecnología iniciada en los años ochenta ha tenido un gran impacto económico en el sector agrícola, pues ha permitido mejorar significativamente la eficiencia del uso del agua y ha contribuido a incrementar la calidad y rendimiento de los productos agrícolas de exportación.

Existen modelos de programación de riego que incluyen en su desarrollo modelos empíricos para determinar la evolución, en profundidad, del sistema radicular, la escorrentía, la percolación profunda y la precipitación efectiva. La mayoría de los métodos que se aplican en la práctica ordinaria de la programación de riego corresponde a los distintos modelos de balance de agua en el suelo. Uno de los más extendidos es el balance hídrico, que implica la determinación de todas las entradas (riegos y lluvia) y salidas del agua en el suelo, debiéndose conocer en todo momento el agua que queda en el suelo a disposición del cultivo para que no descienda por debajo de un umbral de humedad prefijado en función del objetivo perseguido con la programación (SEPOR, 2007).

Varios autores como Santos *et al.* (2010), y Pacheco *et al.* (2012), citados por Machado (2016), resaltan la importancia de la correcta determinación de las necesidades de agua de los cultivos con el empleo de las nuevas tecnologías de la información, por el ahorro

de agua que presuponen, y plantean que para lograr que la agricultura bajo riego contribuya al uso sostenible del agua será necesario reducir los volúmenes aplicados a los cultivos, basados en los métodos de programación de riego, término que usualmente se emplea para describir el procedimiento mediante el cual se determina la frecuencia y dosis de agua a aplicar en cada riego, teniendo en cuenta las condiciones edáficas existentes, el tipo de cultivo y su estado fisiológico así como el clima predominante. El fin perseguido es, además de incrementar los niveles de producción, propiciar un ahorro del agua empleada en cada riego, con el mínimo riesgo de contaminación al ambiente.

1.3.3.1. Los modelos agrohidrológicos en la programación del riego

Los modelos de cultivos basados en procesos son herramientas útiles para simular el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de las plantas, así como el balance hídrico del suelo (Moura da Silva et al., 2021).

En la investigación y planificación agrícola, el desarrollo de modelos para simular diferentes procesos relacionados con su eficiencia, se ha convertido en una práctica común que, sustentada con la información científica disponible, es útil para pronosticar resultados en situaciones y condiciones específicas, lo que permite plantear nuevas hipótesis y orientar la investigación o el manejo hacia los puntos más críticos (Gormley y Sinclair, 2003).

Hacia la década de los años 50 aparecen los modelos de simulación de tipos descriptivos y matemáticos, en los años 60 aparece el concepto de sistemas dinámicos que incluyen la variable tiempo y que representaban el flujo de esos procesos y sus interacciones. En esta etapa W.G. Duncan de la Universidad de Kentucky y C.T. de Wit de la Universidad agrícola Wageningen, dos importantes precursores fueron quienes desarrollaron modelos como herramienta para explicaciones científicas, como por ejemplo sintetizar y mejorar la comprensión de procesos de interceptación de radiación y fotosíntesis, desarrollando modelos simples que consideraban únicamente la producción potencial relacionada con la radiación y la temperatura. En la década del 70 se formaliza aquel concepto de dinámica de sistemas y en los años 80 se refina mediante técnicas de computación la verificación, validación y evaluación de esos modelos. En esta última década aparecen los primeros modelos de simulación para los cultivos de maíz, soja,

trigo y arroz, incluidos en el paquete DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) (Barrett, J. R. y Nearing, M. A. Citado por Guevara).

Entre los modelos existentes se encuentra el AquaCrop-FAO Raes et al. (2009); Steduto et al. (2009), modelo de aplicación general de cultivo, el cual se ha utilizado en varias zonas del mundo bajo diferentes condiciones ambientales. El mismo es desarrollado por la FAO con la ventaja de ser relativamente sencillo en comparación con otros modelos de simulación de rendimientos, por lo que con solo calibrar algunos parámetros se obtienen resultados similares a la realidad. Esto facilita el uso del modelo en tanto la información necesaria para adaptarlo a las condiciones de nuestro país no sea tan grande en comparación a otros modelos y la plataforma del software resulte ser de fácil manejo.

Recientemente, González et al. (2018) y González et al. (2019) calibraron y validaron el modelo AquaCrop para maíz, sorgo y soya en suelo Ferralítico Rojo compactado en Cuba (municipio Alquizar, Provincia Artemisa). Los resultados de la calibración del modelo permitieron optimizar los parámetros fundamentales de suelo y cultivo para su aplicación en las condiciones de estudio, destacándose la duración de las fases fenológicas, el índice de cosecha, los límites de agotamiento de la reserva de agua para definir el estrés hídrico y la curva número para la determinación del escurrimiento superficial.

1.3.3.2. El programa CROPWAT 8.0

CropWat es una herramienta de apoyo a las decisiones desarrollada por la División de Tierras y Aguas de la FAO. CropWat 8.0 para Windows es un programa de computación que puede ser usado para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y de sus requerimientos de riego en base datos climáticos y de cultivo ya sean existentes o nuevos. Además, el programa permite la elaboración de calendarios de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del esquema de provisión de agua para diferentes patrones de cultivos (figura 2).

CropWat calcula ETo tomando la ecuación de la FAO Penman-Monteith¹⁴ partiendo de su ecuación original y de las ecuaciones de resistencia aerodinámica del cultivo:

$$ET_o = \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{10}{L} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} \frac{90}{T + 275} u_2 (e_s - e_a) \right]$$

Donde:

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

γ^* : constante psicrométrica 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 psicrométrica

Δ : pendiente de la curva de presión de la saturación de vapor a una temperatura específica (mbar/°C)

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

T: temperatura promedio (°C)

G: flujo termal del suelo (cal/cm²)

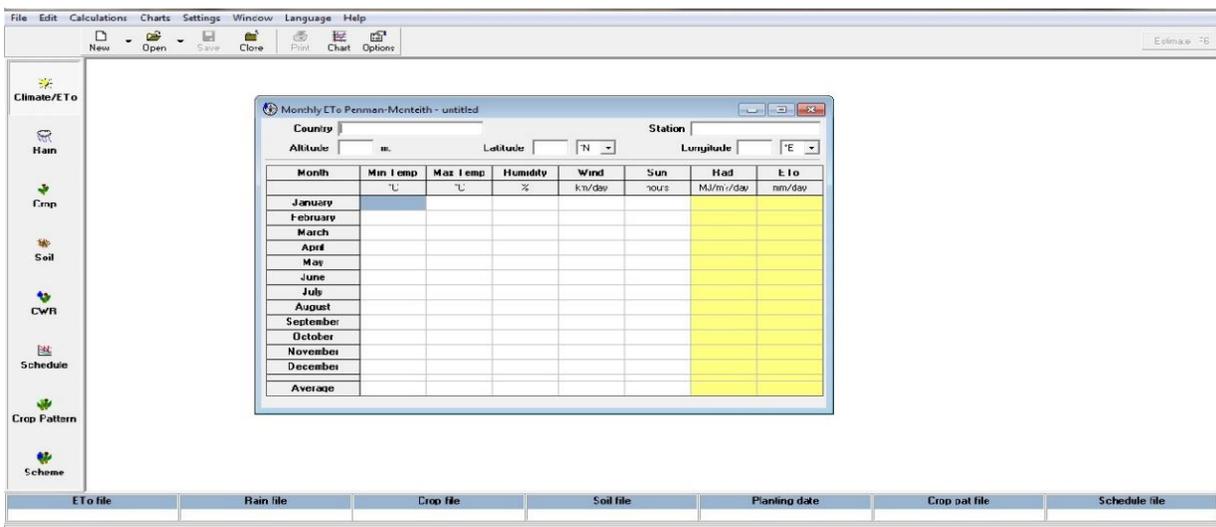


Figura 2: Ventana principal del Software para el cálculo de la Evapotranspiración de referencia, CROPWAT.

En general CropWat ejecuta las siguientes funciones:

- Entrada mensual, década y diario de datos climáticos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o)
- Compatibilidad hacia atrás para permitir el uso de la base de datos CLIMWAT
- Posibilidad de estimar datos climáticos en la ausencia de valores medidos.
- Cálculo decadal y diario de las necesidades hídricas de los cultivos basado en algoritmos de cálculo actualizadas incluyendo el ajuste de valores de los coeficientes de cultivo
- Cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos y la programación de riego para el arroz y el arroz de secano, utilizando un procedimiento recientemente desarrollado para calcular las necesidades de agua, incluyendo el período de preparación de la tierra.
- Uso interactivo para ajustar horarios de riego.
- Balance diario de agua suelo en tablas.
- representaciones gráficas de los datos de entrada, los requisitos de agua de los cultivos y los horarios de riego
- fácil importación / exportación de datos y gráficos a través de portapapeles o archivos de texto ASCII

Capítulo II. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

La zona de estudio se encuentra en la finca “La Prosperidad” (figura 3) perteneciente a la UBPC “Cuba Libre” de la Empresa Agropecuaria Horquita en el municipio Abreu, Provincia Cienfuegos en el periodo comprendido de enero 2022 a diciembre 2023 donde se llevó una investigación no experimental. Posee como coordenadas geográficas 22.16796 °N y 80.72754 °W



Figura 3: Imagen satelital de la zona de estudio

El cultivo seleccionado es el maíz con la variedad H-Ame 15, para la campaña de primavera. El marco de siembra fue de 0.90 m de camellón por 0.25 m de narigón. El área está beneficiada por la máquina de pivote central No 2, del modelo Western, con 5 torres y abarca un área de 30,7 ha

Para el estudio se tomó el IV cuadrante de la máquina y se establecieron 6 parcelas de 60 m² (10 m de largo por 6 de ancho), una en cada tramo de máquina de riego para las evaluaciones de las variables de crecimiento y desarrollo y rendimiento del cultivo (figura 4)

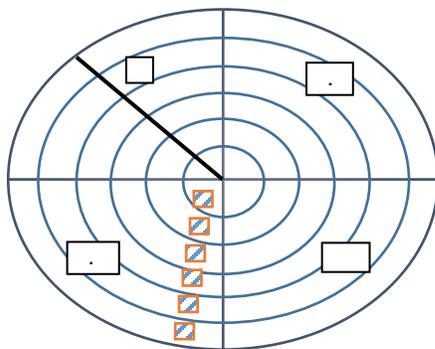


Figura 4: Ubicación de las parcelas en la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

2.1. Caracterización de la finca “La Prosperidad” de la UBPC “Cuba Libre”

Se tendrán en cuenta los siguientes elementos:

- Tipo de propiedad
- Fuerza de trabajo
- Del suelo
 - Contenido de materia orgánica
 - Contenido de N, P y K:
 - Profundidad efectiva
- Sistema de riego
 - Fuente de abasto
 - Calidad del agua
 - Características de la máquina de riego
 - Distribución de boquillas
- Del clima
 - Temperatura máxima
 - Temperatura mínima
 - Temperatura mensual
 - Humedad relativa
 - Insolación
 - Velocidad del viento

- Dirección predominante del viento.
- Precipitación

2.2. Determinación de forma experimental in situ de los parámetros del suelo y del cultivo de maíz, según las etapas de crecimiento

- Capacidad de campo: Se determinará en condiciones de campo tomando muestras cada 10 cm de profundidad hasta los 40 cm
- Coeficiente de marchitez: El punto de marchitez permanente se determinará mediante el uso de la fórmula empírica la cual se deriva de conocer el valor de la capacidad de campo (Cisneros, 2003)

$$PMP = \frac{CC}{1,84}$$

Dónde:

PMP: es el punto de marchitez permanente, % mss;

CC: contenido de humedad a la capacidad de campo, % mss

- Profundidad radicular: se extraerán plantas de cultivo en diferentes fases, a las que se le realizarán mediciones a su sistema de raíces con el empleo de la cinta métrica y determinando los valores promedios por fases.
- Densidad aparente: se tomarán muestras de suelo con anillos de volumen conocido, se pesarán (psh) y luego se lleva a la estufa durante 24 horas a 110 °C y se vuelve a pesar (pss). Con estos datos se calcula la densidad aparente a partir de la siguiente expresión

$$D_a = \frac{ms}{V_t} = \frac{\text{peso del suelo seco} - \text{peso del anillo}}{\text{Volumen del anillo}}$$

Donde:

Ms= masa de los sólidos (g)

Vt= volumen del anillo (cm³)

- Humedad inicial del suelo. Se determinará empleando el método gravimétrico tomando las muestras en al menos 8 puntos del campo y a diferentes profundidades (0-10; 10-20 y 20-30 cm)

Del clima: Los datos de clima se tomarán de la Estación automática instalada en la propia finca y las mismas variables con que se caracteriza este escenario productivo

Del cultivo se evaluará durante dos años (época de siembra de primavera):

- Variedad: a partir de la información ofrecida por la empresa
- Fecha de siembra. Se anotará el día que se realiza
- Profundidad radicular. Se determinará tomando muestras de plantas en diferentes momentos, a las que se medirá la longitud de las raíces
- Agrotecnia aplicada. Se tomará del registro de campo que se habilitará
- Fecha de cosecha: se estimará primero a partir de la fecha de siembra y considerando el ciclo del cultivo, este dato se corroborará al realizarse la cosecha

2.3. Establecimiento del momento y la norma de riego requerido para el cultivo en cada una de las fases de desarrollo del mismo a partir del balance de humedad

- Para determinar el momento y dosis de riego se debe cuantificar las lluvias caídas, para lo cual se dispone de un pluviómetro en la propia finca
- Para determinar las necesidades hídricas de la planta (Evt) se aplica la ecuación del balance ajustada a las condiciones concretas del lugar y de la que se despeja la Evt como variable desconocida

$$Wf = wi + Mh + Mn - Evt$$

Evapotranspiración real

$$Evt = Wf - wi + Mh + Mn$$

Donde

Wf: reserva final

Wi: reserva inicial

Mh: Ingreso por lluvias

Mn: Ingresos por riego

Evt: Evapotranspiración

- El muestreo de la humedad se realizará tres veces a la semana a tres niveles de profundidad y en los seis tramos con que consta la máquina de riego.
- Estas muestras se pesarán con una balanza analítica para obtener el peso del suelo húmedo.

- Las muestras después de pesadas se colocan en la estufa a 105 °C durante 24 horas para extraer toda la humedad contenida en la misma
- Después de secadas las muestras y cuando ya tengan una temperatura igual a la ambiental se pesarán para obtener el peso del suelo seco. Los datos obtenidos se registrarán en el modelo que se muestra en la tabla 1
- El contenido de humedad presente en las muestras seleccionadas se determina por la ecuación y se registrarán en el modelo que se muestra en la tabla 1

$$H_{\text{presente}} = \frac{P_{\text{sh}} - P_{\text{ss}}}{P_{\text{ss}}} \cdot 100$$

Donde:

Psh: Peso del suelo húmedo (g)

Pss: Peso del suelo seco (g)

- El valor de la humedad presente determinado en condiciones de campo se considera como la humedad final de un periodo determinado

Tabla 1: Registro del peso de las muestras de suelo

Fecha	Hora	Peso del suelo húmedo			Peso del suelo seco				
		0-10 cm	11-20 cm	21-30 cm	0-10 cm	11-20 cm	21-30 cm		
		T 1				T 1			
		T 2				T 2			
		T 3				T 3			
		T 4				T 4			
		T 5				T 5			

		Consola				Consola			
--	--	---------	--	--	--	---------	--	--	--

Para el establecimiento del régimen de riego se utilizará el registro habilitado que se muestra en la tabla 2 donde se precisará el momento de riego y la lámina aplicada, el intervalo entre dos aplicaciones y las observaciones correspondientes

Tabla 2: Régimen de riego a aplicar

Mes	Día	Etapas	Lámina neta ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	Intervalo riego (días)	Observaciones

Capítulo III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el presente estudio el cultivo seleccionado fue el maíz con la variedad H-Ame 15, para la campaña de primavera. Esta selección obedece a que el mismo es un cultivo de los que más aporta a los niveles de producción de la empresa, el cual alterna de manera satisfactoria y estratégica con el cultivo principal de la empresa que es la papa, aprovechándose todos los residuos de nutrientes que quedan en el suelo del citado cultivo. La variedad que se sembró se obtuvo por el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB), a partir del cruce entre la línea transgénica L-Moltó y la línea comercial cubana CT9. L-Moltó aporta al híbrido eventos transgénicos que facilitan su manejo a gran escala, al proveerle resistencia a la palomilla del maíz y tolerancia a herbicidas a base de glufosinato de amonio

Pilar et al., (2021) Plantean que el híbrido simple de maíz H-Ame15. Este híbrido posee además buen potencial productivo, sus plantas son altas, de gran follaje, con el ángulo de inserción de la hoja al tallo casi estrecho, está presente el carácter de senescencia retardada y las mazorcas son cilíndricas con granos de color amarillo semicristalinos.

El marco de siembra fue de 0,90 m de camellón por 0,25 m de narigón. El área está beneficiada por la máquina de pivote central No 3, del modelo Western, con 5 torres y abarca un área de 30,7 ha

Para el estudio se tomó el IV cuadrante de la máquina y se establecieron 6 parcelas de 60 m² (10 m de largo por 6 de ancho), una en cada tramo de máquina de riego para las evaluaciones de las variables en estudio

3.1. Caracterización de la finca “La Prosperidad” de la UBPC “Cuba Libre”

La finca fue entregada al productor Yoandris Rodríguez en calidad de usufructo, desde el año ____

Posee una fuerza de trabajo fija de ____ Trabajadores predominando el sexo masculino y el rango de edad entre 35 y 50 años como muestra la tabla 2. No se incluye la fuerza contratada para periodos críticos de cosecha u otra actividad

Tabla 3: Composición etaria y profesional de la fuerza de trabajo en la finca “La Prosperidad”

	Composición etaria				Nivel escolar		
	Total	18-35	36-60	+60	9no	12mo o TM	Nivel superior
F							
M							
T							

Fuente: El propio autor

Del suelo

Las Condiciones del suelo son óptimas para el desarrollo del cultivo, tanto por sus propiedades físicas como por sus propiedades químicas y biológicas, lo que lo demuestran los estudios realizados a nivel de laboratorio.

De acuerdo con los criterios de López y Gil (2011), el maíz requiere suelos con buen drenaje, profundos, de textura media, sin exceso de calcio y con un pH entre 6 y 7. No le son favorables los suelos arenosos ni arcillosos. El contenido de humedad del suelo debe estar entre el 70 y 75 % de la capacidad de campo.

El suelo de la finca pertenece al grupo IIA ferralítico rojo típico, ideal para el cultivo del maíz

Las muestras tomadas en el cuadrante IV de la máquina de riego, una vez realizado el análisis de laboratorio arrojaron como resultados principales: alto contenido de materia orgánica (tabla 4) con valores que oscilan entre 12,9 y 13,9. %

Según Schindelbeck et al., (2008), un 5.4 % de MO en suelo se considera excelente, 2.3 % es bajo, mientras que suelos con menos de 1%, se clasifican con baja fertilidad (USDA, 2006), citados por Leon (2023).

El pH se califica como ligeramente alcalino en todas las muestras, el que resulta idóneo para el cultivo del maíz.

El contenido de fósforo encontrado en el suelo se considera alto y supera los mostrados en el estudio hecho por Becerra et al. (2023) en la propia Empresa Agropecuaria Horquita con valores de 223 y 228 mg.kg⁻¹ en las campañas 200-2021 y 2021-2022 respectivamente

- Tabla 4: Contenido de materia orgánica, pH y macroelementos del suelo

Parcelas	MO (%)	pH	P (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)
T 1	13,4	7,41	510	0,210
T 2	13,6	7,53	560	0,220
T 3	12,9	7,57	420	0,210
T 4	13,8	7,20	450	0,210
T 5	13,9	7,76	540	0,220

Fuente: Laboratorio de Ensayos Ambientales (CEAC)

Si bien los indicadores físicos, químicos y biológicos no determinan por separado la calidad del suelo, la mayoría de los estudios coinciden en que la materia orgánica es el principal indicador, e indudablemente que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Duval et al., 2013).

Sistema de riego

El sistema de riego empleado en la finca donde se condujo el estudio es una máquina de pivote central modelo western cuyas principales características de trabajo se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Características técnicas de la máquina de pivote central 2 de la finca “La Prosperidad”

Parámetros	Descripción
Tipo de máquina de riego	De pivote central
Modelo	Western

Número de torres (u)	5
Radio de la máquina (m)	312,6
Área que riega (ha)	30.7
Velocidad máxima de la última torre (m.min ⁻¹)	3,26
Caudal que entrega (l.s ⁻¹)	39,47
Tiempo mínimo para dar una vuelta (al 100 %) (h)	306,99
Tiempo máximo para dar una vuelta (al 3 %) (h)	9,21
Lámina mínima de riego (mm)	4.26
Lámina máxima de riego (mm)	142,08

Fuente: El propio autor

La Fuente de abasto que se emplea es el manto freático cuyas aguas son de probada calidad y son capaces de satisfacer las exigencias hídricas del cultivo

Los estudios de calidad practicados con anterioridad confirman lo antes dicho, como se muestra en la tabla ____

- **Del clima.** El comportamiento de las variables climáticas, según la serie histórica 1981-2010, cuyas medias históricas se muestran en la tabla 6, permitió predecir que no habría una influencia negativa en el cultivo, pues las variables muestran valores que se corresponden con las exigencias ecológicas del mismo

Tabla 6: medias históricas de las variables climáticas para la época de primavera

	mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Promedio anual
Temperatura							31,1
Máxima (°C)	32,6	32,8	33,4	33,3	32,5	31,2	

Temperatura							19,3
Mínima (°C)	20,5	22,2	22,2	22,3	22,1	20,8	
Humedad							77,5
relativa %	74	79	79	81	83	83	
Velocidad							7,6
del viento							
(m.s ⁻¹)	7,9	6	5,8	5,1	4,9	6,5	
Insolación							7,3
(h)	7,9	6,7	7,9	7,2	6,2	6,7	

Fuente: Centro meteorológico provincial

3.2. Determinación de forma experimental in situ de los parámetros del suelo y del cultivo de maíz, según las etapas de crecimiento

Las evaluaciones hechas para actualizar los datos de las propiedades hidrofísicas del suelo mostraron valores que no difieren de los que se disponían de registros anteriores

Capacidad de campo: Se determinó en condiciones de campo tomando muestras cada 10 cm de profundidad hasta los 30 cm. Se tomaron dos muestras en cada profundidad. La tabla 7 muestra los resultados de la evaluación reflejando una ligera disminución de la capacidad de retención de agua por el suelo en función de la profundidad, en lo que puede haber influido la preparación poco profunda del suelo. Como resultado general se asume que la capacidad de campo es del 27 % del pss

Tabla 7: Capacidad del campo a diferentes profundidades en la finca La Prosperidad.

Muestras	Peso del suelo húmedo (gr)	Peso del suelo seco (gr)	Capacidad de campo
----------	----------------------------	--------------------------	--------------------

	(% pss)									
	0-10	11-20	21-30	0-10	11-20	21-30	0-10	11-20	21-30	Total
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	
1	305	305	330	238	240	261	28.2	27.1	26.4	27.2
2	315	285	290	246	225	230	28.0	26.7	26.1	27.0
Total	620	590	620	484	465	491	28.1	26.9	26.3	27.1

Fuente: El propio autor

A partir del valor de la capacidad de campo se determinó el coeficiente de marchitez según la ecuación propuesta por Cisneros (2003), con lo que se estableció en 14.72 %_{pss}, este límite, al cual no debe llegar la humedad del suelo y esto se garantiza con el riego

El valor de la densidad aparente determinada en condiciones de campo reflejó un valor acorde al tipo de suelo y coincide con otros reportados por Duarte (2018) para igual tipo de suelo (tabla 8)

Tabla 8: Densidad aparente del suelo en la finca la prosperidad

Lugar muestra	PSS (gr)	Volumen (mL)	DA (gr.cm ⁻³)
Tramo 1	13540	10931	1.238
Cuadrante IV	12725	10270	1,239

Fuente: el propio autor

Humedad inicial del suelo. Se determinó empleando el método gravimétrico tomando las muestras en 8 puntos del campo y a diferentes profundidades (0-10; 10-20 y 20-30

cm) para conocer el valor medio de humedad del suelo y comenzar la programación del riego.

En general la humedad se encontraba muy próxima a la capacidad de campo considerando que inmediatamente que se realizó la siembra se aplicó un riego para garantizar la germinación.

La profundidad de hasta 10 cm es donde se comprobó la presencia de mayor contenido de humedad (tabla 9) aunque no difiere de las otras dos profundidades.

Estos valores combinados con la temperatura del suelo y el estado de este a partir de su preparación tendrán una influencia favorable sobre el inicio de la brotación

López y Gil (2011) consideran que la humedad óptima para el cultivo del maíz durante todo su ciclo debe estar del 75 al 80 % de la capacidad de campo. Esto es lo ideal, sobre todo en la época de siembra de primavera, donde las lluvias pueden presentarse con sistematicidad y altos volúmenes y si la humedad es alta pueden aparecer encharcamientos que serían muy perjudiciales al cultivo principalmente en las primeras semanas posteriores a la siembra

Tabla 9: Humedad del suelo al inicio del ciclo del cultivo a diferentes profundidades

Muestras	Peso del suelo húmedo (gr)			Peso del suelo seco (gr)			Capacidad de campo (% pss)			
	0-10 cm	11-20 cm	21-30 cm	0-10 cm	11-20 cm	21-30 cm	0-10 cm	11-20 cm	21-30 cm	Total
1	165	140	135	129	110	107	27.9	27.3	26.2	27.2
2	145	140	150	114	111	119	27.2	26.1	26.1	26.5
3	140	145	155	110	114	124	27.3	27.2	25	26.4
4	170	145	130	133	114	103	27.8	27.2	26.2	27.1
5	140	170	140	110	134	111	27.3	26.9	26.1	26.8

6	155	135	160	122	106	126	27.0	27.4	26.9	27.1
Total	915	875	870	718	689	690	27.4	26.9	26.1	26.8

Fuente: El propio autor

Los datos de clima se tomaron de la estación automática instalada en la propia finca

Del cultivo

La siembra se realizó el 5 de julio, un poco retrasada respecto a la prevista inicialmente por la presencia de lluvias

El manejo agrotécnico con que condujo el cultivo no cumple con los establecido en el instructivo técnico ni con las recomendaciones de los patentadores de este híbrido y las causas están en las dificultades económicas que atraviesa el país. A pesar de ello si se garantizó un nivel de fertilización, control de arvenses, aporque y riego.

Se aplicó la fertilización mineral con la fórmula 9-13-17 a razón de 350 kg. ha⁻¹ (por debajo de lo recomendado en la Ficha Técnica 2020, según Becerra et al. (2023), que estipula una dosis de 600 kg.ha⁻¹. El control de malezas se realizó de manera mecánica mediante el uso de un cultivador y dos labores de chapea. Las labores de manejo agronómico se efectuaron de igual manera para todas las unidades experimentales.

Se aplicaron dos fertilizaciones foliares con Byfolan a razón de 2 L ha⁻¹, con intervalo de una semana a partir del estado vegetativo V1 de las plantas. Se aplicó urea (200 kg ha⁻¹), cuando las plantas alcanzaron el estado vegetativo V6. No se utilizó ningún producto para el control de la palomilla del maíz. La cosecha se realizó de forma manual, cuando las mazorcas tuvieron el 25 % de humedad del grano. El secado se realizó al sol. El desgrane de las mazorcas se realizó de forma manual, con 13 % de humedad del grano

La profundidad radicular. Se determinó en diferentes momentos, coincidiendo con las fases del ciclo del cultivo y con ello decidir la profundidad a humedecer (tabla 10)

Tabla 10: Profundidad a humedecer por fases del cultivo

Etapas	Vegetativa	Reproductiva	Maduración	Senescencia
Duración	11 semanas	4 semanas	2 semanas	1 semana
Profundidad	0-0,25 m	0,25-0,30 m	0,30 m	0,30 m

Fuente: el propio autor

La cosecha se realizó el 31 de octubre, a los 120 días de la siembra y seis días menos que los indicados en la ficha técnica para este híbrido simple por el laboratorio de botánica del CIGB según Téllez (2021).

3.3. Establecimiento del momento y la norma de riego requerido para el cultivo en cada una de las fases de desarrollo del mismo a partir del balance de humedad

En la planificación del riego la lluvia es uno de los elementos más importantes a considerar. De su magnitud, frecuencia e intensidad depende la cantidad que es retenida por el suelo para convertirse en humedad aprovechable por las plantas.

Para una adecuada planeación de la actividad agrícola, es fundamental la determinación de las necesidades hídricas de los cultivos para enfrentar el problema de la disponibilidad de agua en la producción agrícola

La diferencia numérica entre el valor de la evapotranspiración de 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 fijos 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 finca, 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 (figura 5). Los meses de septiembre y agosto registraron los mayores volúmenes con valores de 226,2 y 117,3

mm respectivamente. Según el cálculo que realiza el programa CROPWAT, de la lluvia total caída solo el 65,4 % 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 figura 6)

Los valores reportados para igual periodo en el propio año en que se desarrolló el cultivo son inferiores a los medios históricos. 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

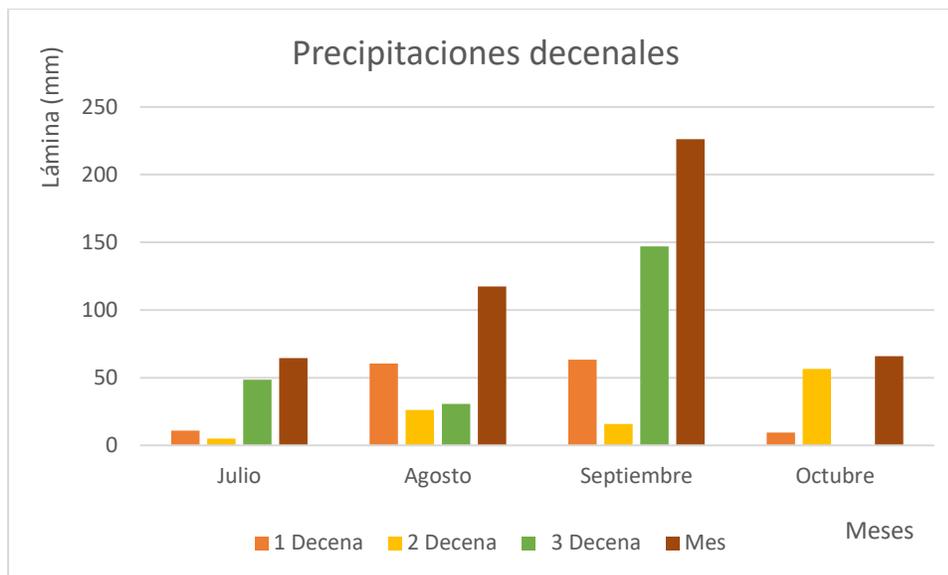


Figura 5: Comportamiento de las precipitaciones en el periodo julio-octubre del 2022

Fuente: Pluviómetro instalado en la finca y procesamiento de datos con el programa CROPWAT 8.0

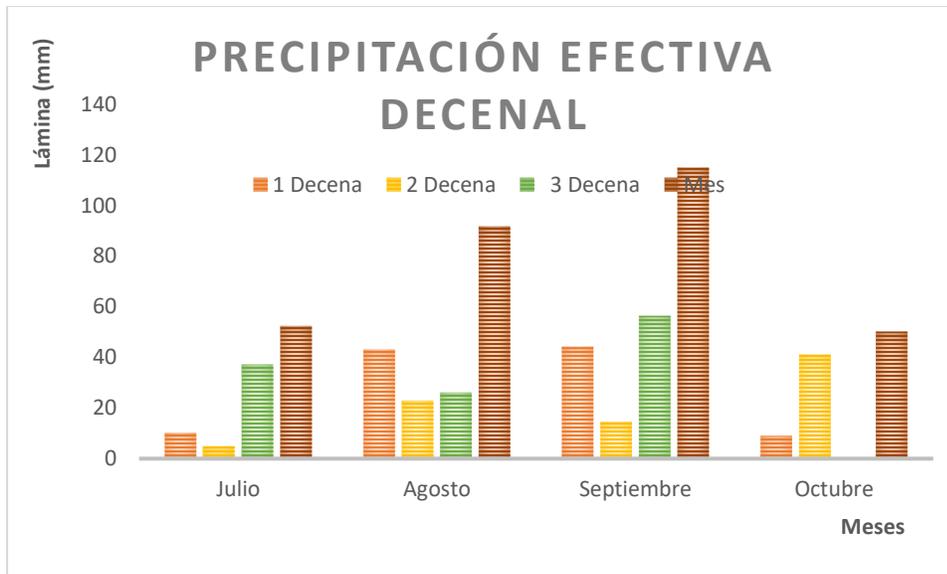


Figura 6: Comportamiento de las precipitaciones efectivas en el periodo julio-octubre del 2022

Fuente: Pluviómetro instalado en la finca y procesamiento de datos con el programa CROPWAT 8.0

Las necesidades hídricas cubiertas de un cultivo se expresan a través de la evapotranspiración y esta puede ser cuantificada por diferentes métodos, siendo el balance de humedad uno de ellos

Para el presente estudio se realizó un seguimiento sistemático al contenido de humedad del suelo mediante la gravimetría lo que permitió conocer el valor de la evapotranspiración a través de la ecuación del balance al conocer las variables que intervienen en el mismo. Considerando la época del año en el que se desarrolló el estudio donde las temperaturas son las más altas del año y el viento también muestra sus mayores valores la evapotranspiración del cultivo muestra valores elevados.

Durante el ciclo completo del estudio el consumo de agua por la planta fue de 6938,5 $m^3 \cdot ha^{-1}$, lo que equivale a 5,78 $mm \cdot día^{-1}$, su comportamiento decenal y mensual se presenta en la figura 7 donde puede observarse que son septiembre y agosto los meses de más alto consumo de agua por la planta, en lo que influyó el clima y la fase de desarrollo de la planta

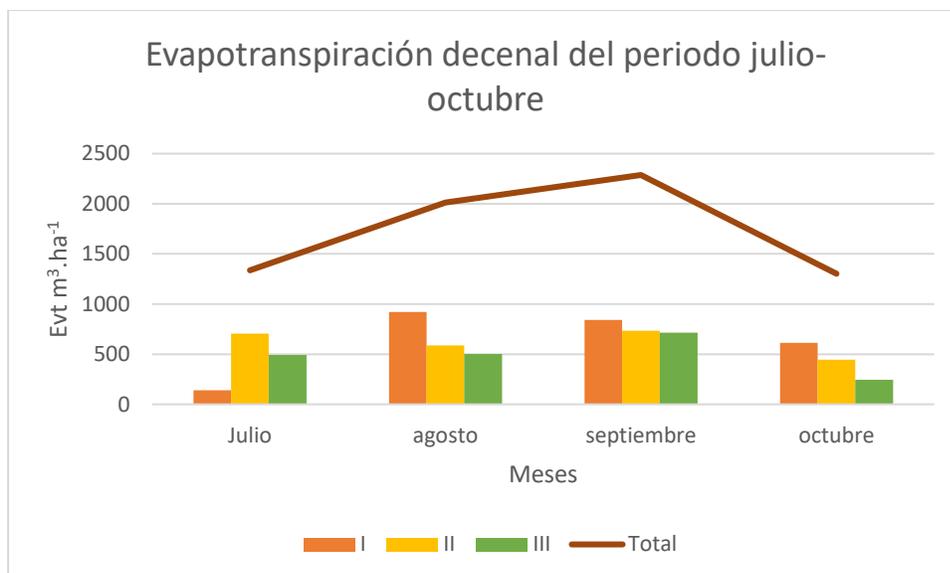


Figura 7: Comportamiento de la evapotranspiración del cultivo

Fuente: el propio autor

Con la información preliminar del suelo, el cultivo y la técnica de riego se comenzó la implementación del régimen de riego de explotación, el cual se define como una regulación de la humedad del suelo con los datos del propio año en que se confecciona. Una información abreviada donde se recoge el día en que se aplicó cada riego, la dosis o lámina aplicada y el intervalo entre dos riegos sucesivos se presenta en la tabla 11 y de manera detallada por meses se muestra en el anexo 1.

La información disponible de la lluvia permitió realizar un aprovechamiento óptimo de la misma y con ello ir ajustando la fecha de riego.

Del consumo total de agua del cultivo mostrado en la figura 7 que alcanzó los 6938,3 m³·ha⁻¹, el 43 % (3021 m³·ha⁻¹) fue cubierto con el riego y el resto con las lluvias. Este índice de aprovechamiento de las lluvias es superior al reportado por Gallardo et al. (2018) en la provincia de Ciego de Ávila en un estudio de los impactos provocados por la sequía agrícola en los cultivos de maíz y frijol en áreas agrícolas del municipio Venezuela. Se aplicaron 23 riegos en total, de los cuales 16 se realizaron en la etapa vegetativa de la planta, cinco en la etapa reproductiva y dos en la etapa de maduración, mientras en la etapa de senescencia no se aplicó ninguno. Esta distribución de los riegos guarda estrecha relación con las exigencias o necesidades hídricas del cultivo y se corresponde

con las normativas establecidas para para este híbrido simple según su ficha técnica (Téllez et al. 2021)

El intervalo entre dos riegos sucesivos no tuvo un valor fijo atendiendo a que se determinaba el momento de riego según la dinámica de la humedad del suelo y considerando que se debe regar cuando el contenido de agua se aproxima al límite inferior de la humedad óptima, es decir el límite productivo. El intervalo varió desde 2 y 3 hasta 9 días y en una ocasión fue de 10, ello se debe al máximo aprovechamiento de las lluvias, aunque se paralizó la aplicación por problemas con un motorreductor de la máquina y por una decisión adoptada por la contingencia energética

Las láminas de riego aplicadas se ajustaban a las necesidades reales de la planta de acuerdo a su fase de desarrollo, a las posibilidades del sistema de riego y la agrotecnia del cultivo. Según la siguiente tabla, las normas que se aplicaron estaban entre 107 y 142 $m^3 \cdot ha^{-1}$ que se corresponden con el 40 y el 30 %, respectivamente, de la velocidad máxima de la máquina

Tabla 11: Régimen de riego aplicado al cultivo del maíz en la campaña de primavera

Mes	Día	Etapas	Lámina neta ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	Intervalo riego (días)	Observaciones
Julio	4	Vegetativa	107		Riego aplicado inmediatamente a la siembra
	8		142	4	
	13		142	5	
	16		142	3	
	19		142	3	
	23		142	4	

	26		142	3	
agosto	5		142	10	
	8		107	3	Desde el día 10 se suspende el riego por contingencia energética
	17		142	9	
	19		142	2	
	23		107	4	
	26		107	3	
	28		107	2	
	Septiembre	5		142	7
7			142	2	Desde el 9 de septiembre Afectada la máquina por una fase de corriente caída
16		Reproductiva	142	9	
19			142	3	
21			142	2	
24			142	3	
Octubre	3		142	9	
	6	Maduración	107	3	
	9		107	3	

Lámina			3021		
Total					

CONCLUSIONES

1. La variedad de maíz H–Ame 1 encontró condiciones idóneas de suelo, clima y riego para expresar su máximo rendimiento potencial en la finca “La Prosperidad”
2. la determinación de los parámetros de suelo permitió definir los límites de la humedad óptima en $996 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ como reserva máxima y $798 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ como reserva mínima por lo que la lámina de riego nunca deberá exceder los $198 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$
3. El manejo del riego permitió incrementar el aprovechamiento de las lluvias y reducir el volumen de agua aplicado por riego que representó el 43 % de los $6398 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ que consumió el cultivo

RECOMENDACIONES

1. Continuar el estudio en otros cultivos de la finca, la UBPC y la empresa evaluando la respuesta productiva del cultivo

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R. G.; Pereira L.; Raes, D.; Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*.
- Arango E: (2020). “Análisis de la humedad del suelo en el cultivo de caña de azúcar en el Valle del Cauca con sensores de radar de apertura sintética (SAR)”. (Trabajo como requisito para optar al título profesional de Agrónomo). Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente. Universidad Nacional Abierta y a Distancia Cead Palmira
- Band, L., Patterson P., Nemani, R. and Running, S. 1993. *Forest ecosystem processes at the watershed scale: incorporating hillslope hydrology. Agricultural and Forest Meteorology (63)*, 93–126.
- Becerra-Fonseca, E. J., García-Quiñones, E., García Vega, J., & Pérez Armas, R. (2023). Producción de maíz (*Zea mays* L) H-Ame15 en la Empresa Agropecuaria de Horquita, Abreu-Cienfuegos. *Universidad y Sociedad*, 15(S2), 59-69.
- Betancourth L. (2016). *Sensor de humedad del suelo tipo sonda con sistema de monitoreo para aplicaciones en agricultura de precisión*. (Trabajo de grado). Universidad de los llanos.
- Duval, M. e.; Galantini, J. A.; Iglesias, J. O.; Canelo, Silvia; Martínez, J. M.; Walle, L. (2013). Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil Till. Res. (131)*, 11-19.
- Francia. Consejo Mundial del Agua, (2007) *World Water Council, Report, Paris France*. <http://www.ecoportal.net/nosotros>.
- González, R.F.; Cisneros, Z.E.; Herrera, P.J.; López, T.; Cid, L.G., (2019). “Predicción del rendimiento de la soya (*Glycine max* L) utilizando el modelo AquaCrop en suelo Ferralítico”, (*Revista Ingeniería Agrícola*), 9(1), 3-13,
- González, R.F.; Delgado, R.; Díaz, Y.; Herrera, J.; López, T.; Cid, L. G. (2018). “Simulación del efecto del estrés hídrico en el cultivo del sorgo en suelo Ferralítico Rojo”, (*Revista Ingeniería Agrícola*), 8(1), 3-12.

Guevara E., (2013). *La simulación del desarrollo, crecimiento y rendimiento en maíz INTA EEA Pergamino, Argentina.*

Hervis G. G., Riverol, M. L. H., Vargas C. R. Del C., Sánchez Torres, E. G., Duarte D. C., González, R.F., Herrera P.J. (2019). Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca San Diego ante escenarios de cambio climático. (*Revista Ingeniería Agrícola*), 1(2)

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, (IICA)., (2015) *Modelos de simulación y herramientas de modelaje. Elementos conceptuales y sistematización de herramientas para apoyar el análisis de impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre las actividades agrícolas.*

León Y. J., Ojeda L. J., Aquila A., Bernal Y. (2023). Propiedades físicas y componentes de la fertilidad del suelo en la Finca Maripa, Cumanayagua, Cienfuegos. (*Revista Científica Agroecosistemas*), 11(2), 141-149. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>

López Fleites R. y el Díaz V. (2011). *Generalidades del Cultivo del Maíz.* Samuel Feijóo.

López R. (2021). *Necesidades hídricas, uniformidad del riego y rendimiento del maíz (Zea mays L) en la CPA "Mártires de Barbados".* (Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Agrónomo). Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Cienfuegos.

Machado Y. (2016). *Caracterización de la evapotranspiración de referencia estimada y predicha para su inserción en la programación de riego.* (Tesis en opción al Grado Académico de Master en Agricultura Sostenible). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.

Medina G.G., Ruiz, C. J. A., Rodríguez M.V. M., Soria R. J., Díaz, P. G. Y Zarazúa V. P., (2016). Efecto del cambio climático en el potencial productivo del frijol en México. (*Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*) *Publicación Especial*, (13), 2465-2474

México. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, (CEPAL), (2000). *Análisis espacial de datos históricos y escenarios de cambio climático en México, Centroamérica, Cuba, Haití y la República Dominicana.* Naciones Unidas. *Sistema de Integración Centro Americana (SICA).*

- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), (2015). *Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*.
- Montaña A.A. (2018). *Eficiencia en el uso del agua de riego en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú*. (Trabajo de diploma). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central de Las Villas.
- Moura da Silva, E.H.F., Boote, K.J., Hoogenboom, G., Gonçalves, A.O., Junior, A.S.A., & Marin, F.R., (2021). *Performance of the csm-cropro-soybean in simulating soybean growth and development and the soil water balance for a tropical environment*. *Agric. Water Manag.* 252. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106929>.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E. (2018). *Reference Manual AquaCrop 6.0*. 150pp., FAO. <http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html>.
- Reyes González, A., D. G. Reta Sánchez, J. I. Sánchez Duarte, E. Ochoa Martínez, K. Rodríguez Hernández y P. Preciado Rangel. (2019). Estimación de la evapotranspiración de maíz forrajero apoyada con sensores remotos y mediciones in situ. *Terra Latinoamericana* (37), 279-290. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.485>
- Richards, L. A., & Weaver, L. R. (1944). *Moisture retention by some irrigated soils as*. (Journal of Agricultural Research), 69, 215.
- Semana Nacional de Ganado Porcino, (SEPOR), (2007). *Servicio de programación y optimización del uso del agua de riego. Programación de riego usando estaciones meteorológicas*. Boletín Informativo. Comisión Nacional de Riego. Chile.
- Tarjuelo, J. M. (2005). *El riego por aspersión y su tecnología*. Ediciones Mundi- Prensa
- Téllez-Rodríguez, Pilar; Morán-Bertot, Ivis; Riverón-Hernández, Albis; Espinoza-Delgado, Davel; Hernández-Hernández, Daily; Martínez-Ramírez, Alberto; Ayra-Pardo, Camilo; Isidró-Pérez, Miriam. (2021). H-Ame15: Nuevo híbrido simple de maíz transgénico, resistente a la palomilla y tolerante a herbicidas. (*Cultivos Tropicales*), 42(4-Supl.), 1-e12.

Valbuena, C., Martínez, L., & Henao, R. (2008). Variabilidad espacial del suelo y su relación con el rendimiento de mango (*Mangifera indica* L). (*Revista Brasileira de Fruticultura*). 30, 1146-1151.

Varón Ramírez, V. M. (2016). *Caracterización de las propiedades hidrofísicas de los suelos del Centro Agropecuario Marengo CAM y su incidencia en su capacidad productiva*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia.

ANEXOS

Anexo 1

Mes. Julio 2022

	W máxima 996.96		W mínima 797.568			
Día	Wi	Ingresos				
		lluvia		HP	Evt	Observaciones
		caída	mn			
1						
2						
3						
4	892.8		107	1032.5		
5						
6				998.7	33.8	
7		46				
8			142	938.9	105.8	
9		63				

10						
11						
12		51				
13			142	817.3	314.7	
14						
15				852.5	106.8	
16			142			
17						
18				839.1	155.4	
19			142			
20				854.3	126.7	
21		125				
22				833.6	145.7	
23			142			
24		55				
25						
26			142			
27		75		930	242.6	
28						

29		230		901.4	103.6	
30						

Mes: Agosto

Día	Wi	Ingresos				
		lluvia		HP	Evt	Observaciones
		caída	mn			
1						
2						
3		115		894.50	236.9	
4						
5			142	882.26	127.2	
6		102				
7						
8		127	107	952.19	174.1	
9		261				
10				1063.86	383.3	
11		72				
12				957.24	178.6	

13						
14						
15				831.49	125.7	
16		65				
17			142	767.94	128.6	
18						
19			142	753.90	156.0	
20		155				
21						
22				906.59	144.3	
23			107			
24				872.67	140.9	
25						
26		54	107	799.96	72.7	
27						
28		252	107			
29				1174.67	145.3	
30						

Mes: Septiembre

Día	Wi	Ingresos				
		lluvia		HP	Evt	Observaciones
		caída	mn			
1						
2		85		930.46	244.2	
3		43				
4						
5			142	870.27	188.2	
6		115				
7			142	981.87	145.4	
8						
9				861.08	262.8	Afectada la máquina por una fase de corriente caída
10		390				
11						
12				924.12	327.0	
13						

14		89		835.43	88.7	
15						
16			142	795.34	129.1	
17		45				
18						
19		25	142	793.53	188.8	
20						
21			142	793.51	167.0	
22						
23				839.19	96.3	
24			142			
25		240				
26		460		986.57	234.6	
27		560				
28		150				
29		60				
30				1014.95	215.1	