

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Departamento de Agronomía



Tesis de Diploma

Caracterización de la precipitación efectiva y la evapotranspiración
de referencia en la provincia Villa Clara, Cuba

Autor: Yainel Hernández Antúnez

Tutor: Ing. Yeniel Machado Rodríguez

Santa Clara, 2016

Pensamiento:

Si el hombre sirve la tierra sirve

José Martí

Dedicatoria:

Se la dedico muy en especial a mi madre Claribel Antúnez Coneza por ser la persona más importante en mi vida.

A mi padre Fernando Hernández Rodríguez

A mi hermana Yainiris Hernández Antúnez

A mi gran guía y un segundo padre Adán Tomas Rivero Ortiz

A mi pareja Yudisel Cárdenas Rodríguez

A toda mi familia en general y en especial a Ismael Arturo Magdaleno Calzada

Agradecimientos:

Primeramente le agradezco a mi madre Claribel Antúnez Coneza por haber sido la que me trajo al mundo y por ser el motor impulsor en mis estudios, de igual forma agradezco a mi padre Fernando Hernández Rodríguez y de una forma única al Ing. Adán Tomas Rivero Ortíz, a su padre, y madre, Rolando Rivero y Marielena Ortíz por su ayuda incondicional, su apoyo, su amistad, su comprensión, confianza y por tratarme como un hijo.

También agradezco mucho a mi hermana Yainiris Hernández Antúnez y a mi cuñado Irán Felipe García.

Le muestro mis gratitudes a mi pareja Yudisel Cárdenas Rodríguez por tenerme paciencia y por ayudarme en todo lo que pudo.

Agradecerle grandemente al Ms.C. Arturo Magdaleno Ortíz por su ayuda incondicional en mi trayecto como estudiante. Quisiera también darle mis agradecimientos a la revolución cubana por brindarme los estudios gratuitos y hacer de mí un profesional.

Darle gran agradecimiento a mi tutor el Ing. Yeniel Machado Rodríguez por ser un gran profesional y un buen amigo como persona.

Agradecerle a toda mi familia en especial a mi tío Osmani Antúnez Coneza a Camilo Denny Ramírez Ortiz, Luis Miguel Magdaleno Viña, Yoel Alejandro Castillo Felipe, Yosbany Crespo Gascón, Deinis, Lester García Ortiz, Máximo, Yendy por apoyarme de una forma u otra en mi carrera.

Y por último agradecerle a mis **amistades** y a quienes se empeñaron en *brindarme ayuda* para convertirme en un profesional como Yunior, el Ruky, Frandy, Andrés, Pablo, Yoany, Javier, Yosiel, Alejandro, Lanyer, Lennier, Carlos, Guillermo, Manuel en fin a todos los que han hecho posible y me ayudaron a convertirme en un profesional **gracias a todos**.

Resumen

En Cuba se evidencia una disminución de los volúmenes medios históricos de lluvia lo cual, constituye una alerta para la irrigación de las áreas agrícolas por la disminución de la disponibilidad hídrica. Atendiendo a esta situación se caracterizó la marcha de los principales egresos e ingresos del agua en el suelo, para la parte llana de la provincia Villa Clara. Para ello se analizó la calidad de series históricas de observaciones meteorológicas diarias, concernientes al período (1993-2013), registrados en las bases de datos de las estaciones del territorio. Para el cálculo de la precipitación efectiva y la evapotranspiración de referencia se empleó el método propuesto por FAO, (*USDA Soil Conservation Service*) y (Penman-Monteith) respectivamente, contenidos en el programa Cropwat versión 8.0 sobre plataforma Windows. Se determinó la clasificación de los años de acuerdo a su probabilidad de excedencia, y se establecieron los volúmenes de lluvia representativos para incluir en los proyectos de riego. Se obtuvo que para esta región en el periodo poco lluvioso cae el 22.6 % y en el lluvioso el 77.4 % del total de precipitaciones anuales, con una media mensual de 106.8 mm. Los valores de lluvia anual considerados como años medios secos oscilan alrededor de los 1187 mm, y los mayores valores de P_e se alcanzan en los meses de agosto y septiembre. Los valores medios mensuales de evapotranspiración de referencia oscilaron entre 2.1 mm d^{-1} y 5.2 mm d^{-1} en Caibarién y Santo Domingo específicamente.

Índice

1. Introducción.....	1
<i>Problema científico:</i>	2
<i>Hipótesis:</i>	2
<i>Objetivo general</i>	2
<i>Objetivos específicos:</i>	2
2. Revisión bibliográfica.....	3
2.1. <i>Ahorro y disponibilidad de agua en la agricultura.</i>	3
2.2. <i>Recursos hídricos e hidráulicos en Cuba.</i>	4
2.3. <i>Evapotranspiración. Conceptos y definiciones.</i>	4
2.4. <i>Métodos para estimar la evapotranspiración.</i>	6
2.4.1. <i>Método FAO Penman-Monteith.</i>	7
2.5. <i>Precipitaciones caídas y efectivas.</i>	9
<i>Precipitación efectiva</i>	9
2.6. <i>Programación de riego.</i>	10
3. Materiales y métodos	13
3.1. <i>Caracterización hidrológica de las áreas seleccionadas.</i>	14
3.1.1. <i>Tratamiento de los datos de inicialización.</i>	14
3.1.2. <i>Cálculo de la curva empírica de probabilidades</i>	15
3.2. <i>Marcha de la evapotranspiración de referencia y la precipitación efectiva.</i>	16
3.2.1. <i>Estimación de la evapotranspiración de referencia y la precipitación efectiva.</i>	16
3.2.2. <i>Procesamiento estadístico</i>	16
4. Resultados y discusión	17
4.1. <i>Caracterización hidrológica de las áreas seleccionadas.</i>	17
4.1.1. <i>Tratamiento de los datos de inicialización.</i>	17
4.1.2. <i>Curva empírica de probabilidades</i>	21
<i>Cálculo de la probabilidad de excedencia</i>	21
<i>Curva empírica para las series de lluvias anuales en la provincia Villa Clara</i>	22
4.2. <i>Determinación de la marcha de la evapotranspiración de referencia.</i>	26
4.2.1. <i>Marcha de la evapotranspiración de referencia</i>	26
<i>Marcha de la precipitación efectiva</i>	30
5. Conclusiones	33
6. Recomendaciones	34
Bibliografía.....	
Anexos.	

1. Introducción

Uno de los problemas que afecta la agricultura a nivel mundial gira en torno a la disponibilidad y uso racional de los recursos hídricos. Los efectos del cambio y la variabilidad climática sobre la producción agrícola imponen una nueva óptica al análisis de este aspecto, ya que a modo de ejemplo, las consecuencias de los eventos extremos, tales como huracanes o sequía, han ocasionado severas consecuencias en este sector productivo.

La agricultura es una actividad económica con gran dependencia de múltiples factores químicos, físicos, fisiológicos tanto de la planta como del suelo, y del microclima donde se desarrolla el cultivo. Por lo que las estrategias de desarrollo agropecuario deben estar respaldadas por un profundo conocimiento de las características agrometeorológicas de las áreas seleccionadas, lo que constituye un factor determinante debido a la vinculación que el propio proceso productivo tiene con las mismas. (Domínguez *et al.*, 2012).

La distribución y el uso de las aguas en Cuba se corresponden con la de un país esencialmente dependiente de su actividad agropecuaria, y debido a que en promedio, los rendimientos por unidad de superficie cultivada son 2.3 veces más altos en el área regada que en las áreas de secano, la caracterización *in situ* de las precipitaciones y la precipitación efectiva, se considera un elemento esencial de la programación de riego que influye sobre los resultados productivos de cualquier empresa agrícola. (Pérez *et al.*, 2010).

Los volúmenes de agua demandados por los cultivos durante los meses de noviembre hasta abril donde las condiciones climáticas son favorables, a excepción de la lluvia, superan a los que pueden ser suministrados naturalmente y requiere el empleo de sistemas de riego para complementar el abastecimiento, los que en definitiva, también dependen de ellas. Varios investigadores como (Centella *et al.*, 2006) y (Planos *et al.*, 2013) coinciden en que existe una disminución progresiva y sostenida en los acumulados anuales de lluvia del país, por lo que cabe esperar reducciones de la disponibilidad de superficies de cultivos bajo riego, la que solo parcialmente podrá ser sustituida por cultivos de secano, afectando progresivamente la magnitud de los totales de cosecha posibles.

Las decisiones de cuándo o cómo regar están sustentadas en diversos factores, entre los que se cuentan la relación entre el consumo de agua por los cultivos y el régimen de precipitaciones. En el trópico, donde se alternan condiciones secas y lluviosas o la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos como huracanes y/o sequías; el conocimiento de la pluviometría o la evapotranspiración, constituye de especial importancia para los regantes; quienes a menudo no disponen de esta información de forma regular. (Domínguez *et al.*, 2008).

Atendiendo a que no toda el agua es aprovechada de igual forma por los cultivos, según las épocas y los diferentes tipos de suelo se planteó el siguiente problema científico.

Problema científico:

En las áreas regables de la provincia Villa Clara no existen valores fehacientes de los principales egresos e ingresos del agua en el suelo, para su inserción en los modelos de programación de riego de las empresas agrícolas.

Hipótesis:

La caracterización hidrológica de las áreas seleccionadas permitirá obtener la magnitud de los diferentes egresos e ingresos del agua en el suelo, para ser tenidos en cuenta en los balances hídricos agrometeorológicos de las empresas agrícolas.

Objetivo general

Evaluar la marcha de la precipitación efectiva, y la evapotranspiración de referencia en la provincia Villa Clara para optimizar el manejo de los recursos hídricos en la programación de riego de las empresas agrícolas del territorio.

Objetivos específicos:

- 1- Caracterizar desde el punto de vista hidrológico las áreas seleccionadas.
- 2- Determinar la marcha de la precipitación efectiva y la evapotranspiración de referencia.

2. Revisión bibliográfica

2.1. Ahorro y disponibilidad de agua en la agricultura.

La escasez de agua constituye una importante limitación para el desarrollo agrícola en las regiones áridas y semiáridas. La comunidad internacional está insistentemente analizando y siguiendo los modelos de consumo del agua en la agricultura y su correspondiente asignación y eficiencia en el uso. (Garcés *et al.*, 2008). Los aproximadamente 1 260 millones de hectáreas bajo agricultura de secano (correspondientes a un 80% del total de la tierra cultivada del mundo) suministran el 60% de la alimentación del mismo, mientras que los 277 millones de hectáreas bajo riego (el restante 20 % de tierra cultivada) contribuye con el otro 40% de los suministros de alimentos. En promedio, los rendimientos por unidad de superficie cultivada son 2.3 veces más altos en el área regada que en las áreas de secano. Estas cifras demuestran la importancia de la agricultura de regadío en la producción mundial de alimentos y la necesidad de introducir mejoras en los sistemas para un mejor aprovechamiento del agua. (Pérez *et al.*, 2010).

Generalmente en la agricultura se tienen altos consumos de agua causados por la sobreirrigación, lo cual no sólo genera un derroche de agua, sino que dicha ineficiencia en la aplicación del agua de riego finalmente conlleva a pérdidas de fertilizantes nitrogenados y posterior contaminación de los acuíferos subterráneos por lixiviación de estos. Además la alta variabilidad espacial en las condiciones físicas del suelo se traducen en un reparto desigual de agua de riego aplicada en el predio, problema que generalmente no es considerado tanto para el diseño de nuevas obras de riego (aspersión, goteo, y riego superficial) como en las ya existentes. (Castro *et al.* 2008). En Cuba las principales causas que originan estas situaciones se relacionan según Cisneros *et al.*, (2011), con la mecanización masiva del riego, mediante la extensión de las máquinas de pivote central y otras, que aunque logran elevadas productividades de áreas regadas por hombre, muestran signos de poca efectividad agrícola y baja eficiencia en el uso del agua, relacionada esto a su vez, con un empleo incorrecto y al desconocimiento del modo de operar estas tecnologías. Varios autores como Carlesso, (2008), Santos *et al.*, (2010), y Pacheco *et al.*, (2012), 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.

2.2. Recursos hídricos e hidráulicos en Cuba.

Los escasos recursos de agua del planeta son una señal evidente para que el hombre en su quehacer científico busque formas de conservarla, por considerarse este como un recurso finito para la humanidad.

Los recursos hídricos de un territorio dado (país, provincia, cuenca, etc.) y en un intervalo de tiempo determinado pueden ser clasificados como:

- Potenciales: cuando se refiere al volumen total de agua que ingresa por medio del escurrimiento superficial y la infiltración de las aguas de lluvias caídas directamente en el territorio, así como las cantidades de agua que fluyen desde territorios y/o acuíferos vecinos.
- Aprovechables: aquellos que pueden llegar a ser manejados y controlados de forma sostenible, luego de considerados los recursos necesarios para la conservación de la vida acuática, la protección del propio recurso hídrico, etc., así como los que no presentan la calidad necesaria para el aprovechamiento.
- Disponibles o Recursos Hidráulicos: aquellos que realmente se controlan para su uso en la economía, la sociedad y la protección del medio ambiente, a partir de la infraestructura hidráulica creada a tal efecto. (INRH, 2014).

2.3. Evapotranspiración. Conceptos y definiciones.

Desde hace mucho tiempo, el llegar a conocer el consumo de agua por parte de los cultivos, y en especial los requerimientos hídricos netos y brutos de riego, es una preocupación de los ingenieros, proyectistas, gestores y agricultores. Los consumos de agua de un cultivo, o necesidades hídricas, se

corresponden con su evapotranspiración (ET) en un determinado ambiente y bajo un manejo concreto del mismo. (Santos *et al.*, 2010).

Uno de los primeros intentos para definir el término derivado de estos procesos fue descrito por H.F. Blaney y W.D. Criddle en 1952, quienes definieron “uso consuntivo o evapotranspiración” como, “la suma de los volúmenes de agua usados por el crecimiento vegetativo de una cierta área, por conceptos de transpiración y formación de tejidos vegetales y evaporada desde el suelo adyacente, proveniente de la nieve o precipitación interceptada en el área en cualquier tiempo dado, dividido por la superficie del área”. (Martínez y Fernández 2010).

Estudios de Allen *et al.*, (2006) reconocen como evapotranspiración la combinación de dos procesos separados en los que el agua se pierde, a través de la superficie del suelo por evaporación y mediante la transpiración del cultivo. En la naturaleza, la evaporación desde el suelo y la transpiración desde la planta ocurren simultáneamente, sin que existan métodos sencillos de distinguir entre ambas. Por ello se engloban bajo el término de evapotranspiración.

Al respecto, en la literatura referente al tema se encuentra consenso entre los diferentes autores en cuanto a este concepto, pero difieren las formas de expresar el mismo, bajo determinadas nomenclaturas según las regiones del mundo donde haya tenido lugar la investigación, de acuerdo con las diferentes definiciones que incluye este proceso de pérdida de agua, lo que complejiza la lectura, interpretación y replicación de varias de estas tesis por el lector. Precisamente estos autores no recomiendan el uso de otras denominaciones como ET potencial, debido a las ambigüedades que se encuentran en su definición.

En el estudio anterior el concepto incluye tres diferentes definiciones: evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_{ce}), y evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET_{caj}). Por la incidencia del primero en esta tesis, haremos referencia únicamente a él.

A la tasa de evapotranspiración que ocurre sobre una superficie de referencia, sin restricciones de agua, y que corresponde a un cultivo hipotético de pasto

con características específicas se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ETo. La cual tiene entre sus características una altura de 0.12 m, una superficie de resistencia constante de 70 sm^{-1} y un albedo de 0.23. Este es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo, con el objetivo de poder calcular una ET, que multiplicada por un coeficiente de cultivo Kc pueda servir para estimar la evapotranspiración de los cultivos, definida esta relación por la siguiente ecuación:

$$Etc = Eto Kc$$

Donde:

Etc = Evapotranspiración del cultivo (mm d^{-1})

Eto = Evapotranspiración de referencia (mm d^{-1})

Kc = Coeficiente biológico del cultivo.

Debido a que hay una abundante disponibilidad de agua en la superficie antes mencionada, los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre la evapotranspiración. El relacionar la ET a una superficie específica permite contar con una referencia a la cual se puede relacionar la ET de otras superficies. Además, se elimina la necesidad de definir un nivel de ET para cada cultivo y periodo de crecimiento. Se pueden comparar valores medidos o estimados de ETo en diferentes localidades o en diferentes épocas del año, debido a que se hace referencia a ET bajo la misma superficie de referencia. (Allen *et al.*, 2006); (Santos *et al.*, 2010).

2.4. Métodos para estimar la evapotranspiración.

La ET puede medirse directamente con lisímetros, e indirectamente, con métodos micrometeorológicos, pero puede estimarse mediante diferentes modelos, más o menos empíricos, a partir de registros periódicos de distintas variables climáticas. Aunque las dos primeras posibilidades son más propias del campo de la investigación, la tercera alternativa es la más extendida en la práctica del riego. Esta se expresa normalmente en milímetros por unidad de tiempo (mm h^{-1} ; mm día^{-1} ; mm mes^{-1}), donde se enuncia la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada en unidades de altura de agua. En la siguiente tabla se resumen las diferentes formas de expresar la ET y los factores de conversión entre ellas. (Santos *et al.*, 2010).

Tabla 1. Factores de conversión para expresar evapotranspiración.

	Altura de agua (mm d ⁻¹)	Volumen por unidad de área (m ⁻³ ha ⁻¹ d ⁻¹)	Energía unidad de área (l s ⁻¹ ha ⁻¹)	(MJ m ⁻² d ⁻¹)
1 mm d ⁻¹	1	10	0.116	2.45
1 m ⁻³ ha ⁻¹ d ⁻¹	0.1	1	0.012	0.245
1 l s ⁻¹ ha ⁻¹	8.640	86.40	1	17.21
1 MJ m ⁻² d ⁻¹	0.408	4.082	0.047	1

*Para el agua con una densidad de 1000 kg m⁻³ y a 20 °C.

La determinación experimental requiere aparatos específicos y mediciones precisas de varios parámetros físicos. Los métodos experimentales de campo, son en general caros, exigiendo precisión en las mediciones, y pueden ser completamente realizados y analizados apropiadamente sólo por personal de investigación suficientemente preparado. A pesar de que estos procedimientos no son apropiados para mediciones de rutina, siguen siendo importantes para la evaluación de las estimaciones de ET obtenidas con otros métodos indirectos.

2.4.1. Método FAO Penman-Monteith.

En 1948, Penman combinó el balance energético con el método de la transferencia de masa y derivó una ecuación para calcular la evaporación de una superficie abierta de agua a partir de datos climáticos estándar de horas sol, temperatura, humedad atmosférica y velocidad de viento. Este método conocido como combinado fue desarrollado posteriormente por muchos investigadores y ampliado a las superficies cultivadas por medio de la introducción de factores de resistencia. La ecuación combinada de Penman-Monteith es:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(Rn - G) + \rho_a + c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left[1 + \frac{r_s}{r_a} \right]}$$

Donde:

Rn= Radiación neta (MJ m⁻² día⁻¹)

G= Flujo del calor en el suelo (MJ m⁻² día⁻¹)

(e_s – e_a)= representa el déficit de presión de vapor del aire (k Pa)

ρ_a = Densidad media del aire a presión constante (kg m⁻³)

c_p = Calor específico del aire. (MJ kg⁻¹ °C⁻¹)

Δ = Pendiente de la curva de presión de vapor de saturación (k Pa °C⁻¹)

γ = Constante psicrométrica) (k Pa °C⁻¹)

(r_s y r_a)= Resistencias superficial (total) y aerodinámica. (s m⁻¹)

Según lo formulado arriba, el enfoque de Penman-Monteith incluye todos los parámetros que gobiernan el intercambio de energía y el flujo de calor (evapotranspiración) de grandes extensiones uniformes de vegetación. La mayoría de los parámetros son medidos o pueden calcularse fácilmente de datos meteorológicos. La ecuación se puede utilizar para el cálculo directo de la evapotranspiración de cualquier cultivo pues las resistencias superficial y aerodinámica son específicas para cada cultivo. (Allen *et al.*, 2006).

Tiempo después la colaboración entre la Comisión Internacional para Riego y Drenaje y la Organización Meteorológica Mundial, convocada por la FAO para revisar las metodologías previamente propuestas, y elaborar recomendaciones a este respecto, es que declara como nuevo método estandarizado el de FAO Penman-Monteith, el cual reduce las imprecisiones del método anterior de FAO Penman y produce globalmente valores más consistentes con datos reales de uso de agua de diversos cultivos.

Con este método se obtienen valores más consistentes del consumo de agua de los cultivos, esto debido a que toma en cuenta un mayor número de variables climáticas en comparación con otros métodos. Finalmente la ecuación queda así:

$$E_{to} = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

Donde:

E_{To} = Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

R_n = Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)

R_a = Radiación extraterrestre (mm día⁻¹)

G = Flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹)

T = Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

U_2 = Velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)

e_s = Presión de vapor de saturación (k Pa)

e_a =Presión real de vapor (k Pa)

$(e_s - e_a)$ = Déficit de presión de vapor (k Pa)

Δ = Pendiente de la curva de presión de vapor (k Pa °C⁻¹)

γ = Constante psicométrica (k Pa °C⁻¹)

2.5. Precipitaciones caídas y efectivas.

La cantidad de agua disponible en una determinada región depende básicamente del régimen de precipitación incidente. También hay regiones específicas en las que, aunque la precipitación local sea baja, hay agua disponible en la forma de manantiales producidos por las lluvias o el deshielo aguas arriba. La precipitación se mide con pluviómetros, los cuales se colocan en un sitio bien despejado en la finca, fuera de la influencia de árboles y de infraestructura. Los datos se toman diariamente y se anotan en formatos que se preparan para tal fin. Hay que comparar estos datos de precipitación en finca con los obtenidos en las estaciones meteorológicas más cercanas y, si es necesario, hacer ajustes. Son necesarios años de observación para tener datos confiables.

La precipitación es la primera fuente que el agricultor debe contabilizar como agua disponible en su finca. La precipitación tiene duración (tiempo total de precipitación), intensidad (volumen de precipitación por unidad de tiempo) y frecuencia (el número de precipitaciones en un tiempo dado y con determinadas características). Por ejemplo, una precipitación que se inició a las 03:00 PM y terminó a las 03:30 PM tuvo una duración de 30 minutos. Si la cantidad de agua precipitada alcanzó 20 mm, la intensidad fue de 40 mm h⁻¹. La frecuencia de una lluvia con estas características o mayores que ésta, puede ser de tres por mes. Cabe recordar que la lámina de 1 mm de precipitación equivale a 1,0 l m². Algunos países de la región miden la precipitación en pulgadas (1 pulgada = 2,54 cm = 25,4 mm) FAO (2002).

Precipitación efectiva

Se denomina precipitación efectiva (Pe) a la lluvia que es útil o utilizable (Dueñas, *et al.*, 1987) por quedar el agua almacenada en el suelo, dentro de la zona radicular de las plantas, en niveles de energía de retención que las raíces puedan absorberla (agua disponible).

Si la cantidad de lluvia es muy pequeña, puede ocurrir que no sea aprovechada porque toda o parte de ella queda en la superficie de la vegetación y de allí se evapora. Si llega al suelo y este se encuentra muy seco, puede que el agua quede retenida con alta energía y no esté disponible para las raíces. Al contrario, si la cantidad de lluvia es muy grande o cae con gran intensidad, especialmente en suelo desprotegido, una parte de ella no se infiltra ni almacena en el suelo produciendo un volumen sobrante (escorrentía superficial), el cual debe ser conducido de forma conveniente fuera del campo o almacenado en estructuras de contención para evitar que produzca daños. También puede suceder que el suelo quede saturado y parte del agua infiltrada salga de la zona radical por percolación o escorrentía subsuperficial.

Se han probado muchas maneras de estimar la parte de la lluvia que es aprovechable, lo cual es difícil, por el número de variables involucradas y el dinamismo del proceso.

Aunque no se llega a valores muy precisos, la experiencia ha comprobado que hay métodos que estiman la precipitación efectiva en valores que se acercan a la realidad. El método del balance diario de la humedad del suelo es considerado el más preciso para estimar la lluvia efectiva, pero, en la práctica, durante la planificación de un caso de captación de lluvia no se dispone comúnmente de datos suficientes para aplicarlo. Sin embargo, si la región cuenta con datos de balance diario generados en experimentos de balance de agua en el suelo, estos deben ser los valores utilizados, por su precisión.

Sin embargo, si no se cuenta con el método del balance diario, se pueden utilizar otros métodos para estimar la lluvia efectiva.

2.6. Programación de 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. Lo anterior ha estado asociado, en los países desarrollados, al uso de sistemas informáticos y a redes de estaciones meteorológicas automáticas que permiten entregar en tiempo real la programación del riego. De este modo, en varios países del mundo se observa una fuerte tendencia a usar estaciones meteorológicas automáticas para programar el riego y así optimizar el uso del agua en la producción de frutales, viñas, hortalizas y cultivos. 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).

El desarrollo de investigaciones en esta área ha generado un conjunto de resultados importantes que han favorecido el incremento de la superficie de cultivos bajo riego en países de Iberoamérica, lo cual ha permitido mayor

producción y calidad de las cosechas con notables ingresos para sus agricultores.

En nuestro país la determinación se realiza por el conocido método bioclimático, a partir de la obtención de la reserva de humedad del suelo mediante controles de muestreos gravimétricos, establecidos para el pronóstico del riego en las empresas agrícolas. La metodología establece el momento de riego de los cultivos, sobre la base de humedad del suelo a partir de las propiedades hidrofísicas del mismo, las fases vegetativas del cultivo, los coeficientes biológicos del cultivo, las lluvias y la evaporación. La mayoría de los métodos que se aplican en la práctica ordinaria de la programación de riego, implican la recogida de todas las entradas y salidas del agua en la parcela cultivada, para conocer en todo momento la que queda a disposición del cultivo y no descienda por debajo de un umbral de humedad prefijado, en función del objetivo perseguido con la programación.

En el estudio hay que distinguir dos fases necesariamente; el régimen de riego de proyecto y el de explotación. El primero representa un pronóstico estadístico con cierto grado de certeza, obtenido sobre la base de los factores que lo condicionaron en un periodo pasado, el cual debe ser suficientemente largo para tener adecuada representación de la variabilidad climática.

El régimen de riego de explotación es una regulación de la humedad del suelo de acuerdo con el desarrollo concreto de los elementos que la determinan. Esto conlleva a que se considere variable el régimen de riego cuando se analiza con respecto al tiempo, por lo que se debe observar éste en su dinámica, como un proceso casual, consecuencia de varios procesos también casuales; por tanto, su conocimiento es posible solo cuando se dispone de un número suficiente de datos empíricos de años anteriores. Pacheco *et al.*, (2012).

3. Materiales y métodos

El marco geográfico seleccionado para el estudio se corresponde con la provincia Villa Clara, perteneciente a la región central de Cuba. Está situada en el centro de la isla, limitando al norte con el Océano Atlántico, al sur con las provincias de Cienfuegos y Sancti Spíritus, con las que también limita por el este, sudeste y sudoeste y hacia el oeste con Matanzas. Posee una extensión territorial de 8662.4 km², incluidos 719.2 de cayos adyacentes (ONE, 2011).

El trabajo se desarrolló en el período comprendido entre septiembre de 2015 y mayo de 2016.



Figura 1. Ubicación geográfica de la provincia Villa Clara.

Se analizaron los datos provenientes de cuatro estaciones meteorológicas ubicadas en los municipios del territorio, pertenecientes a la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas del Instituto de Meteorología (INSMET) (Tabla 1).

Tabla 1. Estaciones meteorológicas de Villa Clara, Cuba.

Código	Nombre estación	Municipio	Ubicación		
			Latitud	Longitud	Altura sobre el nivel del mar (m)
78338	Sagua la Grande	Sagua la Grande	22.82	80.08	22.2
78343	Yabú	Santa Clara	22.43	79.98	116.4
78326	INIVIT	Santo Domingo	22.35	80.13	116.1
78348	Caibarién	Caibarién	22.72	79.45	5.5
78308	La Piedra	Manicaragua	22.06	79.58	230

Se decidió no incluir en este estudio la estación 78308 La Piedra, perteneciente al municipio Manicaragua, por ser esta de reciente creación y no aportar series con registros representativos de las diferentes variables con las que se trabajó. Además la misma se encuentra a una altura de 230 m.s.n.m. y se considera que los resultados de la investigación aplican para la agricultura de la parte llana de la provincia.

3.1. Caracterización hidrológica de las áreas seleccionadas.

Como paso previo a la caracterización hidrológica de las zonas escogidas para la investigación, se realizó un tratamiento a los datos iniciales de entrada de las variables climáticas seleccionadas.

3.1.1. Tratamiento de los datos de inicialización.

Antes de trabajar con las series de datos de las variables seleccionadas fue preciso realizar un análisis de calidad de la información contenida en ellas, de acuerdo a lo sugerido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1992). Cada uno de los pasos descritos a continuación son imprescindibles para determinar el número de datos faltantes, registros cortos de información, y evaluar la calidad de las bases de datos empleadas, en las cuales, se recoge información clave para detectar, y monitorear la variabilidad en el clima.

Se analizaron los registros diarios de las bases de datos para nueve variables climáticas en una serie de 21 años concernientes al periodo (1993-2013).

Tabla 2. Variables climáticas empleadas en la investigación.

Variables climáticas	Unidad
Temperatura mínima del aire	°C
Temperatura media del aire	°C
Temperatura máxima del aire	°C
Tensión de vapor de agua	mm
Nubosidad	Octavos de cielo cubierto
Acumulado de precipitaciones	mm
Insolación (Duración de la radiación solar)	h
Humedad relativa del aire	%
Velocidad del viento	m/s

Se determinaron los datos faltantes de la serie para cada una de las variables en estudio con la utilización del paquete estadístico SPSS versión 21.0 para Windows y, se determinó el porcentaje que representaban los casos válidos entre los posibles con ayuda del procesador Microsoft Office Excel 2010.

El completamiento de los mismos se realizó a través del método de las medias aritméticas para la variable. Se efectuaron diversas comprobaciones para el control de la calidad de los datos de acuerdo con las recomendaciones dadas por (Plummer *et al.*, 2007), las cuales se ejecutaron simultáneamente al completado de las series.

3.1.2. Cálculo de la curva empírica de probabilidades

El cálculo de la probabilidad de excedencia de cada año de la serie cronológica de lluvias anuales, y la clasificación de los mismos, se hizo de acuerdo a lo propuesto por Pacheco, Domínguez and Lamadrid, (2006), para lo cual:

Se construyeron las curvas empíricas a partir de los acumulados anuales de precipitaciones areales para cada una de las estaciones de la provincia, y esta se determinó con la fórmula:

$$P = \frac{m - 0.3}{n + 0.4} * 100$$

P - Probabilidad de excedencia (en %)

m - Número ordinal de miembros de la serie cuando los elementos son ordenados en forma descendente.

n - Número total de miembros de la serie.

La clasificación de los años según su probabilidad se hizo a través de las categorías mostradas en la tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de los años según la probabilidad de excedencia calculada.

Límites de la probabilidad de excedencia (%)		Clasificación	Simbología
Inferior	Superior		
0.1	20	Húmedo	H
20	40	Medio húmedo	MH
40	60	Medio	M
60	80	Medio seco	MS
80	100	Seco	S

Fuente: Pacheco et al, (1995)

3.1.3. Determinación de los coeficientes de aprovechamiento (Kp)

El coeficiente de aprovechamiento de la lluvia se calculó de acuerdo a lo descrito por Pacheco *et al.* (1995) mediante la fórmula:

$$Kp = \frac{Pa}{Pc} \times 100$$

Donde:

Kp: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Pa: Precipitación aprovechada (mm)

Pc: Precipitación caída (mm)

3.2. Marcha de la evapotranspiración de referencia y la precipitación efectiva.

3.2.1. Estimación de la evapotranspiración de referencia y la precipitación efectiva.

Con las series de datos de las diferentes variables empleadas en la investigación homogéneas, completas, y corregidas, se empleó el programa CROPWAT 8.0 para la estimación de la evapotranspiración de referencia a partir de los valores extremos de temperatura del aire (Swennenhuis, *et al.*, 2014). El método adoptado en este caso fue el de Penman – Monteith, recomendado por la FAO.

Para el caso de la precipitación efectiva, se empleó la aplicación anterior, mediante el método del *USDA Soil Conservation Service*, desarrollada por el *USCS*, por medio de la cual esta puede ser calculada de acuerdo a:

Para los valores mensuales de precipitación:

$$P_{ef} = \frac{P_{\text{mensual}} * (125 - 0.2 * P_{\text{mensual}})}{125} \text{ talque } P_{\text{mensual}} \leq 250\text{mm}$$

$$P_{ef} = 125 + 0.1 * P_{\text{mensual}} \text{ talque } P_{\text{mensual}} > 250$$

3.2.2. Procesamiento estadístico

El procesamiento de la información se realizó mediante el programa SPSS versión 21.0 y el Microsoft® Excel 2010 ambos para plataforma Windows. Se aplicaron estadígrafos descriptivos de tendencia central.

4. Resultados y discusión

4.1. Caracterización hidrológica de las áreas seleccionadas.

Los estudios realizados a partir de información básica como puede ser; el valor de las observaciones diarias de diferentes variables meteorológicas, acumuladas a través de los años formando series largas de registro de estos datos, requieren de una revisión previa, al establecimiento de los diferentes niveles de análisis, para evitar sesgos en la comprensión, y reproducción de los resultados alcanzados.

4.1.1. Tratamiento de los datos de inicialización.

A propósito la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1992) sugiere que los datos meteorológicos deben pasar por varias etapas de control de calidad como son: la verificación de errores groseros, la verificación de la coherencia interna, de la coherencia temporal, y la verificación de la coherencia espacio-temporal. Cada uno de estos pasos es imprescindible para determinar el número de datos faltantes, registros cortos de información, y evaluar la calidad de las bases de datos empleadas, en las cuales, se recoge información clave para detectar, y monitorear la variabilidad en el clima.

En el caso de este trabajo, se analizaron series de 21 años de duración, comprendidas en el periodo 1993-2013, las cuales se clasifican de buenas, de acuerdo con el índice de calidad para el largo de las series (ILARGO), hallado por Álvarez *et al.* (2012) donde reciben esta denominación series entre 15 y 24 años.

La figura 2 muestra que para diferentes etapas de la información contenida en las estaciones meteorológicas de la provincia Villa Clara, se evidencia una mengua escalonada del porciento de observaciones válidas, hacia la parte final de las series. El análisis realizado para evaluar el estado de las series de registros de datos empleadas en este estudio, mostró porcentajes altos de observaciones válidas con respecto al total posible.

Lo anterior resulta de gran importancia para establecer el alcance de las valoraciones, y los estudios que pueden emprenderse, a partir de la calidad y confiabilidad de los datos de inicialización de las series con que se cuenta.

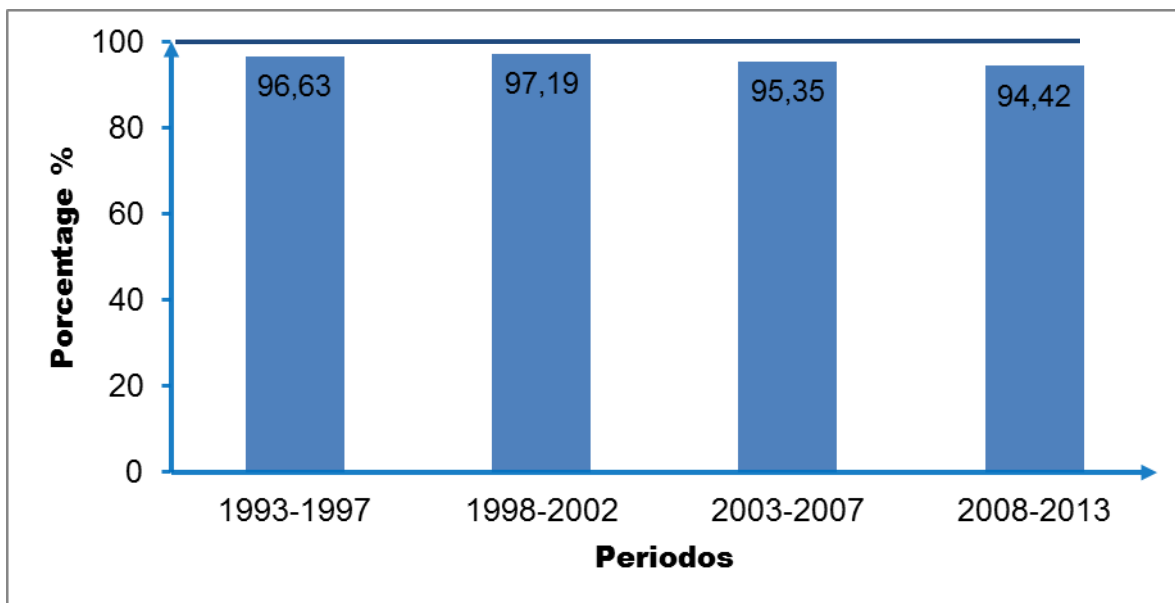


Figura 2. Porcentaje de observaciones válidas con respecto a las posibles, para diferentes periodos de la información contenida en las bases de datos de las estaciones de la provincia Villa Clara en el periodo (1993-2013).

Este resultado indica además, que no se requiere de complejos cálculos para la inferencia de los valores no medidos, dado que los porcentajes de completamiento de la información no excede el 6%, ni en el periodo 2008-2013, considerado aquí, como el de mayor dificultad. Con sencillos cálculos de completamiento; incluso con valores medidos de la variable en otros años, en la misma estación, se puede lograr mayor homogeneidad en las series, y que éstas sean al final, representativas de la población que describe el parámetro de análisis.

Según Infante *et al.* (2008) la disponibilidad, confiabilidad, y homogeneidad de una base de datos, puede resultar de mucha ayuda a los entes gubernamentales que toman decisiones; especialmente pueden ser utilizadas para predecir desastres en aquellas zonas vulnerables donde las precipitaciones afectan negativamente a la vida de los habitantes, o donde los periodos largos de sequías impactan en el desarrollo agrícola esencial para la subsistencia. El estudio de los fenómenos meteorológicos presenta marcada importancia por la incidencia que estos pueden tener sobre las personas y los intereses socioeconómicos de un país.

Hasta el momento se ha visto el comportamiento de la información válida para las nueve variables estudiadas a través del tiempo, pero se precisa la presentación de éstas en el periodo analizado a nivel de estaciones para una visión clara y establecer criterios más acertados en su tratamiento.

En la tabla 4 se advierten porcentajes altos de información válida para cada una de las variables, lo cual aporta cierto grado de confiabilidad en el uso de los datos con que cuentan las estaciones de la provincia.

Las mayores dificultades se concentraron en la variable insolación, con 10936 observaciones inexistentes, que representa a su vez, el mayor porcentaje con 35,64% entre las nueve variables analizadas. En la estación 78338 Sagua la Grande, no se tienen registros de esta variable y en la 78348 Caibarién faltan, 7418 observaciones, que influyen directamente en el total de la provincia (Tabla 4). Se puede aseverar que estas estaciones fueron las de mayor incidencia con sesgos que representan el 45.18% y 96.71% respectivamente con respecto del total de observaciones válidas para la variable. Sin estas afectaciones la cantidad faltante disminuiría considerablemente a 592. El resto de las variables estudiadas presentan valores bajos en cuanto a la ausencia de datos se refiere.

Tabla 4. Resumen de los datos faltantes por estaciones en el periodo (1993-2013), de las variables en estudio y sus porcentajes con respecto al total posible.

Variables climáticas	Estaciones de la provincia Villa Clara							
	Yabú		INIVIT		Sagua		Caibarién	
	Datos faltantes	%	Datos faltantes	%	Datos faltantes	%	Datos faltantes	%
<i>T_{mín}</i> (°C)	40	0.52	3	0.03	19	0.24	0	0
<i>T_{med}</i> (°C)	86	1.12	0	0	0	0	0	0
<i>T_{máx}</i> (°C)	23	0.29	6	0.07	0	0	0	0
<i>Hr</i> (%)	87	1.13	0	0	0	0	0	0
<i>T_{va}</i> (mm)	87	1.13	0	0	0	0	0	0
<i>LI</i> (mm)	79	1.02	0	0	0	0	0	0
<i>Nub</i> (octavos cielo cubierto)	81	1.05	0	0	0	0	0	0
<i>Vv</i> (m s ⁻¹)	81	1.05	0	0	0	0	1	0.01
<i>ln</i> (h)	0	0	0	0	3518	45.86	7418	96.71
Total	564	7.35	9	0.11	3537	46.11	7419	96.72

Leyenda: (*T_{mín}*): Temperatura mínima del aire; (*T_{med}*): Temperatura media del aire; (*T_{máx}*): Temperatura máxima del aire; (*T_{va}*): Tensión de vapor de agua; (*Hr*): Humedad relativa; (*LI*): Lluvia; (*Nub*): Nubosidad; (*Vv*): Velocidad del viento; (*ln*): Insolación.

En el caso de la estación 78338 Sagua la Grande, no se tuvo en cuenta el periodo comprendido entre 1993 y el 14 de mayo de 2004, porque en estos años dicha estación tenía otra ubicación, y no fue hasta el 15 de mayo de ese año que volvió a entrar en funcionamiento.

La insolación mostró un resultado por debajo del resto pero con posibilidades de ser estimados sin dificultad y trabajar con series completas que permitan mayor exactitud, dado que se pudo triangular el resultado de los valores estimados con el método de las medias aritméticas y los registros de las estaciones cercanas que no presentaban sesgos en la etapa considerada.

Con base en los estudios recientes de (Álvarez *et al.*, 2014) quiénes analizaron la calidad de series largas de registros de código de estado de tiempo presente para las estaciones de Cuba, y clasificaron las mismas, de acuerdo al largo de la serie (ILargo), porcentaje de información útil (IU), sesgo mensual (Sm), y el sesgo horario (Sh); y la calidad general de la serie (ICALI), definida por el promedio de los cuatro índices mencionados; las estaciones que se relacionan en este estudio presentan resultados alentadores, si a la hora de evaluar las conclusiones, acerca de los fenómenos en estudio se trata, puesto que todas se clasifican entre bien y excelente en el índice (ICALI), con la estación de Caibarién (B) e INIVIT (E) y el resto (MB). La ausencia de información útil incide directamente en la veracidad de los fenómenos que se desean tratar y hace necesario determinar las horas de máxima ocurrencia de cada uno con vistas a evaluar la pertinencia de utilizar o no los datos.

Es válido destacar que la mayoría de los registros perdidos o no medidos se corresponden a intervalos de tiempo específicos, donde la ocurrencia de fenómenos adversos pudo ser la causal de tales desaciertos, y que en los años anteriores a 2000, muchas estaciones tenían regímenes de observación que solo abarcaban el horario diurno. A decir de la (OMM, 2011) las observaciones cuya única finalidad es ayudar a elaborar predicciones y avisos, la disponibilidad de un registro continuo e ininterrumpido es la base fundamental para responder a las necesidades de la investigación, las aplicaciones y los servicios de usuarios referentes al clima.

4.1.2. Curva empírica de probabilidades

Debido al gran número de factores que determina el valor de los elementos del clima y la imposibilidad de determinar la influencia que cada uno puede tener por separado en el valor de las características hidrológicas de un territorio, es necesario el uso de la estadística para a través del análisis de series más o menos largas de los elementos en estudio realizar un pronóstico estadístico. En la rama de Riego y Drenaje se emplean comúnmente las curvas empíricas de probabilidades para elegir los valores de lluvia o normas totales de riego para el proyecto.

Cálculo de la probabilidad de excedencia

La norma total de riego (Mt) como aporte artificial de agua al suelo, varía en función de las modificaciones de aquellos factores que influyen sobre ella; los cuales se consideran casuales, como el comportamiento de la lluvia caída, la temperatura del aire y la evapotranspiración de los cultivos por solo citar algunos. Por tanto las magnitudes de las normas totales cambian durante el ciclo vegetativo y en función de los diferentes tipos de años que se sucedan en la región donde se cultiva.

En la tabla 7 se muestran los acumulados de lluvias para la provincia Villa Clara y los valores obtenidos para cada una de las clasificaciones que se derivan del cálculo de la probabilidad de excedencia. Se hace necesario hacer énfasis en los tipos de años climáticos que se emplean para elaborar los proyectos de riego, los cuales, se corresponden con los años medio secos para un 75% de probabilidad de excedencia de la lluvia.

Tabla 5. Clasificación de las series de lluvias para la provincia Villa Clara en el periodo (1993-2013)

Estaciones	Series de precipitación (mm)					
	Precipitación media (mm)	H	MH	M	MS	S
Santo Domingo	1362.9	1673.7	1495.2	1349.7	1187.6	1112
Sagua la Grande	1161.2	1459	1382.9	1238.9	1150.2	999.2
Yabú	1312.7	1612.6	1518.8	1411.1	1191.5	804.4
Caibarién	1353.4	1726.9	1473	1367.2	1230.9	965.4
Promedio	1297.5	1618.05	1467.4	1341.5	1190	970.25

En este caso se puede advertir que para los diferentes puntos estudiados representativos de la parte llana de la provincia Villa Clara, los valores son similares con el mayor valor observado en Caibarién (1230.9 mm) y un promedio que asciende hasta 1190 mm, superior al determinado por Pacheco (2008). El menor valor se obtiene en el municipio Sagua la Grande con 1150 mm por lo que cabe esperar que las cantidades de agua a garantizar aquí como concepto de riego tenga que ser mayor que en el resto de las zonas estudiadas. Este resultado coincide con los autores previamente citados. A pesar de que existe coincidencia en los valores obtenidos en otros estudios para el municipio Sagua, hay que señalar que la serie que se analizó es corta y por tanto influye sobre los resultados obtenidos.

Este tipo de análisis con frecuencia se obvia cuando se delimita el alcance de los proyectos de riego, y es un elemento escasamente tratado tanto en el diseño de nuevas obras como en las ya existentes. De acuerdo con Dueñas, (2006), la utilización eficiente del agua en la producción de un cultivo solo puede lograrse cuando la planificación, el proyecto y la operación de suministro del agua, y la del sistema de distribución estén orientados a atender, en cantidad y tiempo, incluyendo los períodos de escasez de agua, las necesidades hídricas del cultivo, ineludibles para un crecimiento óptimo y unos altos rendimientos.

Los valores determinados de probabilidad de excedencia para cada uno de los años en las estaciones bajo estudio se muestran en el anexo 1.

Curva empírica para las series de lluvias anuales en la provincia Villa Clara

Las curvas construidas muestran que para proyectar el riego de acuerdo con una probabilidad de 75 % de ocurrencia o superior, correspondiente a años medio secos (Fig. 3), los volúmenes seleccionados son de 1190 mm para Santo Domingo; 1183 mm Sagua; 1185 mm Yabú; y 1190 mm Caibarién. Estos valores estimados superan a los reportados por Pacheco *et al*, (2006) quienes encontraron tenores de lluvia de 1000 mm para Sagua; 1158 mm Caibarién; 1159 Yabú; 1129 Santo Domingo en el periodo (1977-2003).

Los cultivos anuales cuyas normas totales brutas igualen o excedan estos valores como el caso del plátano, la caña de azúcar, y el arroz bajo condiciones de aniego, necesitarán tener garantizados, en aquellas áreas con disponibilidad, el suministro artificial de agua por concepto de riego, y se debe priorizar además, el análisis en la planificación de cultivos sensibles al déficit de humedad.

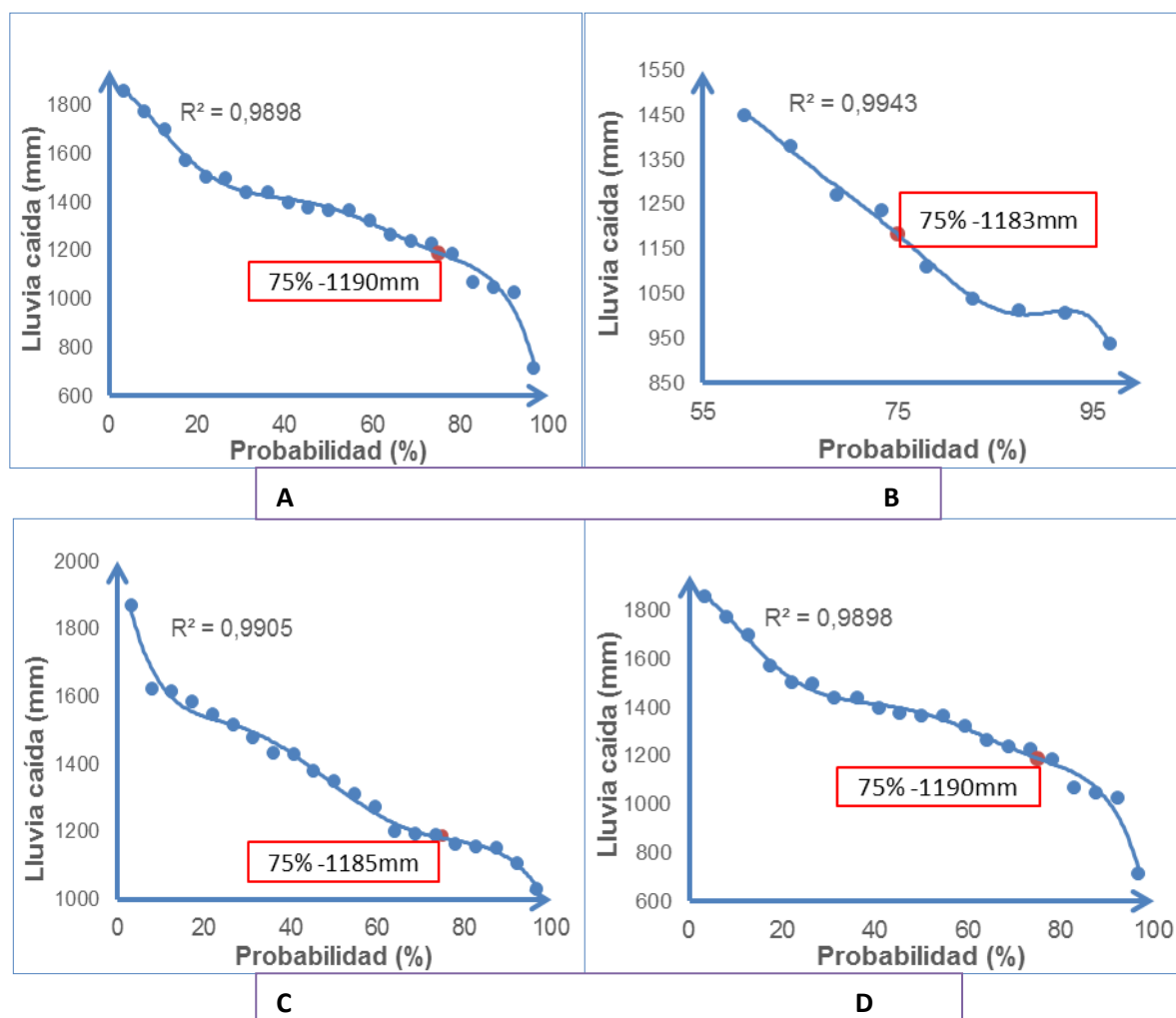


Figura 3. Curvas empíricas de probabilidades para la lluvia en la provincia Villa Clara.

En las áreas de secano esta situación se complejizaría constituyendo así una prioridad, el conocimiento de las reservas máximas que pueden ser retenidas por los suelos. Existe consenso entre diferentes autores, los cuales plantean que las tendencias observacionales en el ámbito internacional y en Cuba indican que es muy probable que ocurra un aumento de la temperatura del aire con el consecuente incremento de la evaporación, favoreciendo los procesos de aridez y que también es probable un incremento de la escasez de agua en

el verano y un aumento del riesgo de sequía. Estos resultados podrían conducir a la reducción de la disponibilidad de agua para la irrigación, daño de los cultivos agrícolas y el ganado, a la reducción de la productividad agrícola y al incremento de incendios en la vegetación, entre otros aspectos no menos importantes.

4.1.4. Determinación de los coeficientes de aprovechamiento (Kp)

El ingreso de humedad por lluvias se pone de manifiesto cuando una parte de ésta queda almacenada en la zona radical del cultivo, esa fracción de la lluvia se conoce como precipitación efectiva o aprovechada. La relación entre la precipitación caída y la fracción que queda retenida por la planta da lugar al coeficiente de aprovechamiento de las precipitaciones.

Los valores calculados de Kp a partir de la precipitación efectiva determinada con el método *USDA Soil Conservation Service*, muestra porcentajes altos en cada uno de los periodos que se analizó este elemento en la provincia Villa Clara. En los meses del periodo poco lluvioso se aprovechan mayores cantidades de agua principalmente porque los volúmenes precipitados dentro de los meses son bajos, al igual que su frecuencia de ocurrencia. Esta situación unida al bajo contenido de agua en el suelo pues justifica estos mayores coeficientes. Resultados similares fueron descritos por Machado *et al.*, (2016) en la caracterización de las precipitaciones efectivas en Santa Clara

Tabla 6. Coeficientes de aprovechamiento para el periodo poco lluvioso en la provincia Villa Clara

Meses	Precipitación caída (mm)	Precipitación efectiva (mm)	Kp (%)
Noviembre	67,8	60,1	88,6
Diciembre	50,3	46,0	91,4
Enero	32,8	31,0	94,5
Febrero	32,1	30,4	94,6
Marzo	45,2	41,8	92,4
Abril	61,0	54,9	89,9
Promedio	48,21	44,0	91,3

Aunque resulta difícil evaluar la cantidad de agua que puede ser utilizada por la vegetación y la que puede ser esperada en un periodo determinado, sumado a que las comprobaciones para determinar la cantidad de agua retenida por el

suelo, quedan en el marco de mediciones directas *in situ*, dependiendo del tipo de suelo y la profundidad radical del cultivo, se considera en este estudio que los valores estimados con este método al parecer sobreestiman los reales. No obstante, enero y febrero mostraron los mayores valores en este sentido con más de 94 % y noviembre el más bajo dentro del periodo poco lluvioso con 88.6 %.

Los resultados alcanzados en esta investigación coinciden con SHN (2006) y Acosta y Paretas (2011), quienes plantean que las precipitaciones en Cuba pese a su variabilidad espacio-temporal, presentan una distribución estacional de 70-80 % en los meses de mayo-octubre y solo de 20-25 % desde noviembre hasta abril. En el estudio se encontró que para la provincia Villa Clara en el periodo poco lluvioso cae el 22.6 % y en el lluvioso el 77.4 % del total de precipitaciones anuales, con una media mensual de 106.8 mm.

En el periodo lluvioso los valores de Kp descienden hasta el orden de 70 % aproximadamente con un mínimo puntual en el mes de septiembre (Tabla 7), debido a la alta humedad residual del suelo y a las cantidades precipitadas como promedio dentro del mes, este resultado supone presencia de láminas temporales de agua sobre el suelo y la creación de condiciones adversas para el desarrollo de algunos cultivos con sensibilidad a la humedad. Sin embargo estos valores pueden ser indicativos y ser útiles en la programación y planificación de las actividades de la agricultura.

Históricamente el clima de Cuba determina que su agricultura sea de regadío, porque durante la mitad del año, desde noviembre hasta abril, las condiciones climáticas son favorables para el desarrollo de los cultivos, con excepción de la lluvia, que en ese periodo registra sus valores medios históricos más bajos. (Centella *et al.* 2006).

Los cultivos anuales tienen necesidades de agua que varían en el curso de su ciclo de desarrollo. Ciertas fases son en particular más sensibles que otras a la falta de agua en el suelo, una falta de agua prolongada en estas fases puede provocar una disminución importante en el rendimiento y a veces la pérdida total de las cosechas.

Tabla 7. Coeficientes de aprovechamiento para el periodo lluvioso en la provincia Villa Clara

Meses	Precipitación caída (mm)	Precipitación efectiva (mm)	Kp (%)
Mayo	141,4	108,4	76,7
Junio	177,4	125,9	70,9
Julio	143,3	110,2	76,8
Agosto	161,1	119,1	73,9
Septiembre	202,6	105,3	51,9
Octubre	166,5	121,3	72,8
Promedio	165,4	115,0	69,5

4.2. Determinación de la marcha de la evapotranspiración de referencia.

La necesidad de establecer criterios certeros o al menos cercanos, sobre la fluctuación del agua en el suelo para determinados intervalos de tiempo, como puede ser el ciclo completo de los cultivos, monitorear los principales egresos e ingresos de la misma para una zona considerada; y contabilizarlos en el marco de los objetivos perseguidos en la programación de riego, marca la ineludible carestía del hombre en buscar a través de su quehacer científico las formas para obtener cifras cercanas a la realidades concretas de las localidades donde hoy se cultiva.

4.2.1. Marcha de la evapotranspiración de referencia

Los resultados de esta investigación mostraron que la curva descrita por la marcha de la evapotranspiración media mensual, correspondiente a la provincia Villa Clara (Fig. 3), sigue un patrón similar de tendencia, comenzando con valores que desde enero van aumentando, y alcanzan el máximo en abril, mayo, y julio, etapa esta del año, que junto con el mes de agosto presenta, la Eto más alta, para luego descender en octubre hasta cifras muy similares a las que comienza el año. Abril es un mes de tránsito entre los periodos lluviosos y poco lluviosos que se suceden en Cuba, por lo cual, cabe esperar que sea este el punto de inflexión donde los valores se elevan, dado que las lluvias que comienzan a mediados y finales del mismo, unido a la baja humedad de los suelos, propicia que una parte considerable, sino toda el agua que infiltra en la rizosfera de la planta, se aproveche, y por ende, aumenten las tasas de transpiración de las plantas. Recuérdese que a partir de este mes, comienza el periodo lluvioso en el cual se registran los mayores valores de temperatura media del aire, y existe humedad en los suelos producto de las precipitaciones

frecuentes, factores que se combinan para propiciar condiciones favorables para los procesos de evaporación y transpiración de las plantas, combinación de egresos del agua a partir del suelo y las plantas respectivamente, que conforman el concepto de evapotranspiración.

Los meses comprendidos entre noviembre y enero muestran sin lugar a dudas los valores más bajos. Ellos coinciden con el inicio y mitad del periodo poco lluvioso del año (noviembre-febrero), siendo diciembre el mes más crítico en este sentido con valores próximos a 5.7% de la tasa anual.

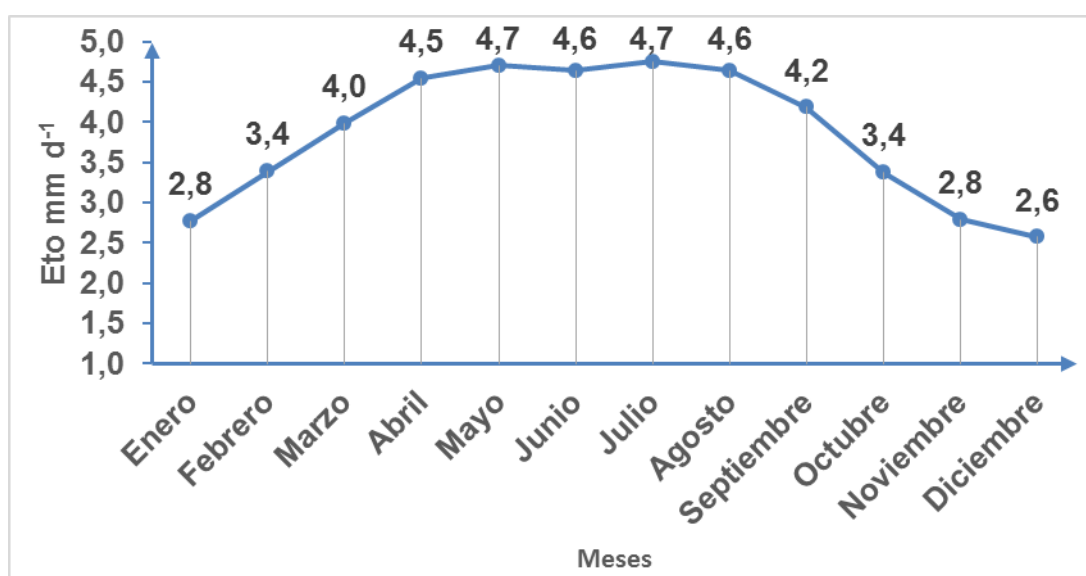


Figura 3. Distribución temporal de la evapotranspiración de referencia media mensual en la provincia Villa Clara.

Según Solano *et al.* (2003), en este mes la posición del sol alcanza la máxima declinación al sur, lo que determina la ocurrencia de magnitudes más bajas de la radiación solar incidente y por tanto, una disminución de la tasa diaria de evapotranspiración de referencia. Este mismo autor plantea que el periodo de ocurrencia de los valores medios más altos de la suma de la evapotranspiración de referencia transcurre de abril a agosto (parte final del periodo poco lluvioso-inicio y mediados del periodo lluvioso), con un mínimo estival en el mes de junio, relacionado con el inicio del periodo lluvioso, debido principalmente al aumento de la nubosidad y a un descenso en la rapidez de los vientos.

En este periodo hay una marcada influencia del Anticiclón del Atlántico sobre Cuba. El sol se encuentra próximo al cenit, y son más altas las temperaturas.

El poseer los valores de consumo de agua de las plantas y los posibles ingresos para un año en su zona, provee al productor de una información valiosa para planificar los riegos con una mayor medida y ahorrar este recurso sin que se eleve el costo de sus producciones.

Este tipo de análisis se puede desglosar de una forma sintética, si se hace a partir de los valores medios calculados, para cada una de las estaciones que comprenden el territorio. Así se puede observar en la tabla 8 cómo; el valor mínimo puntual de la evapotranspiración de referencia es 2.1 mm d^{-1} y se alcanza en la estación 78348 Caibarién, la cual se encuentra a 5.5 m.s.n.m. y los valores medios mayores se registran en mayo y julio en la estación 78326 de Santo Domingo con 5.2 mm d^{-1} .

Tabla 8. Análisis estadístico de la marcha de la Eto en la provincia Villa Clara

Estaciones	Media	Mínimo	Máximo	Rango	Varianza	Desv. típica
Santo Domingo	4.2	2.9	5.2	2.3	.784	.885
Sagua	3.8	2.6	4.6	2.0	.644	.802
Yabú	4.0	2.7	4.9	2.2	.744	.862
Caibarién	3.3	2.1	4.2	2.1	.604	.777

La marcha de esta variable agroclimática es similar a la descrita anteriormente, con un periodo de marzo a septiembre que presenta valores cercanos, iguales y superiores a 3.9 mm d^{-1} llegando hasta el mencionado máximo puntual.

Los meses de mayo y julio registraron las tazas de evapotranspiración más altas, lo que supone una mayor pérdida de agua, producto de las altas temperaturas registradas y mayor radiación solar directa, por lo que constituye una alerta para las áreas bajo riego, y los decisores del mismo, dado que se consumirá en menor tiempo la reserva de agua presente en los suelos, y se acortarían los intervalos de riego con énfasis en los cultivos que se desarrollan en los meses con mayor demanda evaporante de la atmósfera.

La figura 4 muestra la marcha de esta variable para cada una de las zonas estudiadas donde se observa similitud entre las mismas. Se debe significar a

Santo Domingo que mostró los valores medio más altos desde que comienza el año con cifras de 3.1 mm.

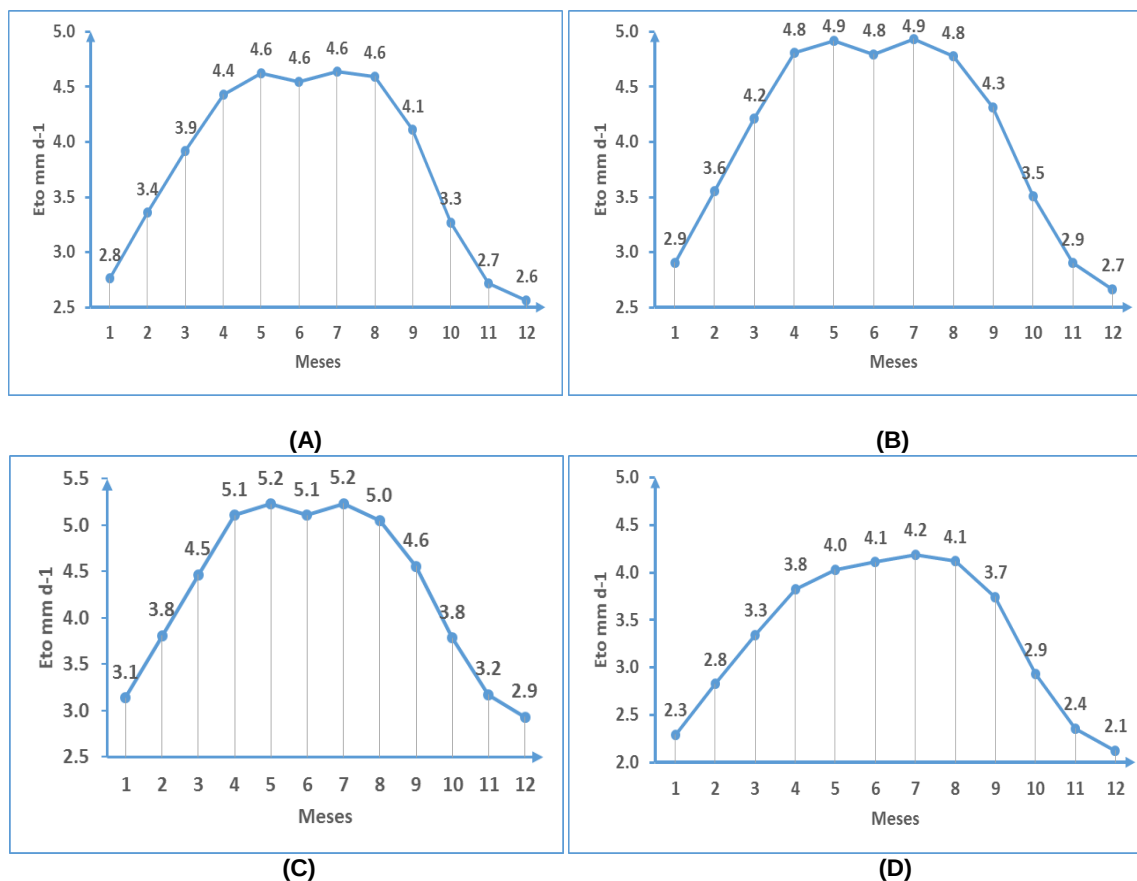


Figura 4. Evapotranspiración media mensual de los municipios estudiados. (A) Sagua; (B) Yabú; (C) INIVIT; (D) Caibarién.

Los resultados anteriormente descritos coinciden con los reportados por Solano *et al.* (2003), quienes encontraron los mínimos diarios de esta variable en el mes de diciembre en la tercera decena, aunque con cifras en el orden de 1.9 mm d⁻¹ y 1.8 mm d⁻¹ inferiores a las que aquí se hace alusión, e igualmente ocurre con los valores diarios mayores, aunque estos autores solo refieren el mes de julio y en este estudio hay que señalar a mayo también.

Al comparar la media diaria obtenida en este estudio con la reportada por Pacheco *et al.*, (2006), en el periodo 1977-2003, se observa un incremento de 0.32 mm d⁻¹, lo que indica que se han elevado cerca de un 30% para esta última década.

Marcha de la precipitación efectiva

Uno de los factores que constituye una limitante para el proceso de evapotranspiración y del cual se hizo alusión anteriormente, es el contenido de humedad en el suelo y está en estrecha vinculación con el volumen de precipitaciones areales ocurridas en el periodo que se analice.

En Cuba, la lluvia es el elemento del balance hídrico de mayor variabilidad cuando se analizan largas series cronológicas, y a partir de los años setentas del siglo xx se sabe que, el fenómeno conocido como cambio climático, ha contribuido a la aparición de años con características extremas para la mayoría de las variables meteorológicas de interés agrícola. En este sentido, se desatacan años marcadamente secos que hacen dificultoso el cultivo de especies vegetales sin regadío y, a la vez, se incrementa la temperatura media del aire provocando un mayor consumo de agua por las plantas. Pacheco *et al*, (2006).

En la tabla 9 se aprecia que los acumulados medios mensuales en el periodo considerado, presentan valores que se corresponden con los reportados para el país por Centella *et al*. (2006) a partir del estudio de las características de la lluvia en Cuba desde 1951 a 1990, con datos decenales de 809 estaciones pluviométricas seleccionadas del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) y el Instituto de Meteorología (INSMET).

Sin embargo los acumulados registrados muestran alguna diferencia con los planteados por otros autores como Cutié y Lapinel (2013), quienes refieren como los meses más secos a diciembre y enero; ya que se encontró que para periodos similares de evaluación, los meses con menor índice de precipitación fueron enero y febrero con una media mensual de 32.8 mm de lluvia y 32.1 mm respectivamente.

Tabla 9. Marcha media mensual de la precipitación efectiva en la provincia Villa Clara

Mes	Estaciones de Villa Clara							
	Santo Domingo		Sagua		Caibarién		Yabú	
	Pc	Pe	Pc	Pe	Pc	Pe	Pc	Pe
Enero	36,3	34.2	23,3	22.4	32,0	30.4	39,6	37.1
Febrero	37,3	35.0	25,8	24.8	31,7	30.1	33,6	31.8
Marzo	55,9	50.9	36,0	33.9	39,2	36.7	49,5	45.6
Abril	65,0	58.2	50,8	46.7	72,4	64.0	55,8	50.8
Mayo	159,2	118.6	101,4	84.9	158,7	118.4	146,1	111.9
Junio	209,6	139.3	135,8	106.3	180,4	128.3	183,8	129.7
Julio	162,8	120.4	124,8	99.9	141,5	109.5	144,1	110.9
Agosto	179,6	128.0	143,4	110.5	146,3	112	175,2	126.1
Septiembre	225,3	144.1	171,1	124.3	210,0	139.4	204,0	137.4
Octubre	129,6	102.7	179,2	127.8	184,9	130.2	172,0	124.7
Noviembre	58,7	53.2	52,7	48.3	87,6	75.3	72,1	63.7
Diciembre	43,4	40.3	52,9	48.4	68,4	60.9	36,3	34.2
Promedio	113.6	85.4	91.4	73.2	112.8	86.2	109.3	83.6

El acumulado medio mensual más bajo se registró en el municipio Sagua la Grande con 23.3 mm y el mayor en Santo Domingo en el mes de septiembre con 225 mm. En este propio municipio y en Caibarién es donde más llueve con 113.6 mm y 112.8 mm respectivamente. Según la Oficina Nacional de Estadísticas e Información ONEI (ONE, 2011), la reducción en los acumulados medios anuales con respecto a la primera mitad del siglo pasado son de 33.3%, situación esta que pudiera explicar los datos del INRH (2011) quienes refieren una lámina promedio de precipitación anual en Cuba de 1335 mm. Se alcanzan los mayores valores de *Pe* en los meses de agosto y septiembre con una media mensual de 119.15 mm y 136.3 mm respectivamente.

De acuerdo con Solano *et al.* (2003) en las prácticas agrícolas las consecuencias de este análisis son evidentes: una vez establecida la demanda mínima de agua de determinado cultivo, en condicione de secano, se puede evaluar rápidamente el riesgo de llevar a cabo dicho cultivo en la región para la cual los datos de precipitación son válidos. Esto constituye, desde luego, una primera aproximación a la solución del problema. La segunda aproximación debe ser la investigación de la distribución de esta precipitación durante la estación de crecimiento de un cultivo y una tercera, aquella relacionada con la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.

De acuerdo con lo planteado por Centella *et al.*, (2006) en la provincia Villa Clara, los acumulados anuales medios de las lluvias alcanzan los 1298 mm. Las magnitudes de sus acumulados mensuales reflejan una acentuada estacionalidad, con un periodo estacional lluvioso de mayo a octubre, que acumula el 77 % del total anual y un periodo poco lluvioso de noviembre a abril, el cual recibe el 23 % restante. Un mínimo relativo intraestival en los acumulados de la lluvia, se produce en los meses de julio y agosto, reflejando el carácter bimodal de los mismos en los meses de la estación lluviosa. Según su norma, un 30 % de los totales de lluvia anuales son inferiores a 1 146 mm y un 70 % inferiores a 1 453 mm. El mes más seco es diciembre, mientras que los más lluviosos son junio y septiembre. El acumulado extremo mensual máximo se produjo en junio de 1968 con 477 mm y el extremo mensual mínimo en diciembre de 1969 cuando se acumuló solamente 1 mm.

5. Conclusiones

1- La calidad de las series tratadas es buena y presentan porcentajes altos de información válida con respecto al total posible siendo representativas del parámetro que describen.

2- Los valores medios más altos de evapotranspiración de referencia se registran en mayo y julio con 5.2 mm d^{-1} en Santo Domingo y el menor para diciembre con 2.1 mm d^{-1} en Caibarién.

3- Los mayores valores de Pe en la provincia se alcanza en los meses de agosto y septiembre con una media mensual de 119.15 mm y 136.3 mm respectivamente.

4- Los valores de lluvia considerados como años medio secos se encuentran alrededor de los 1187 mm.

6. Recomendaciones

- 1- Ampliar el marco geográfico de la investigación hacia la zona montañosa de la provincia Villa Clara para mayor representatividad de las variables estudiadas.
- 2- Hacer extensivo los resultados de la investigación a través de la red de difusión establecida para el servicio de asesoramiento al regante de Villa Clara.

Bibliografía

- 1- Acosta, R. & Paretas, J. J., 2011. *Incendios forestales*. La Habana: Editorial Científico - Técnica.
- 2- 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, 298pp., Estudio FAO Riego y Drenaje No. 56 (Segunda edición). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- 3- Álvarez Escudero, L., Borrajero Montejó, I. & Bárcenas, M., 2014. Análisis de la calidad de series largas de registro de código de estado de tiempo presente para las estaciones de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, ene - jun, 20(1), pp. 3-9.
- 4- Álvarez Escudero, Lourdes; Borrajero, I.; Álvarez R.; Aenlle Ferro Laura; Rivero Llerena Ibis; Iraola Ramírez, Caridad; Rojas Díaz, Yanneyis; Hernández Gil, Mirna (2012). Estudio de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para el territorio cubano. *Revista de Climatología*. Vol. 12 p: 1-21. ISSN 1578-8768.
- 5- Castro, M.; Águila, F. M.; Quevedo, A. Kleisinger, S.; Tijerina, L.; Mejía, E. (2008). Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetros. *Rev. Agricultura Técnica*. México. v.34 No.4. p- 11. ISSN 0568-2517.
- 6- Centella, A., B. Lapinel, O. Solano, R. Vázquez., C. Fonseca, V. Cutié, R. Báez, S. González, J. Sille, P. Rosario y L. Duarte (2006). La sequía meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República Dominicana, 174 pp. Publicado por el Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD) en Cuba 2007.
- 7- Centella, A., B. Lapinel, O. Solano, R. Vazquez., C. Fonseca, V. Cutié, R. Báez, S. González, J. Sille, P. Rosario y L. Duarte (2006). La sequía meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República

- Dominicana, 174 pp. Publicado por el Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD) en Cuba 2007.
- 8- Cisneros, E.; López, Teresa.; Leyva, Aleida.; Placeres, Z. (2011). Consideraciones sobre el servicio de asesoramiento al regante para las condiciones de Cuba. Rev. Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol. 20 No.3. ISSN 2071-0054. p-14.
 - 9- Domínguez I. M.; Lamadrid J.; Pacheco S. (2008). Información agrometeorológica para el enfrentamiento de la variabilidad climática en el riego de la provincia Villa Clara, Cuba.
 - 10-Domínguez I. M.; Saturnino A.; Estrada A. (2012). Vigilancia agrometeorológica de condiciones ambientales para ganado vacuno. Sección de Meteorología Agrícola, Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara. p21.
 - 11-Dueñas R. (2006). Agua, Sostenibilidad y Uso Eficiente del Agua. Editorial Samuel Feijoó. UCLV. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 84p.
 - 12-Dueñas, R.; Assenov, D.; Alonso, N. (1987). El Riego. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. Cuba. P-427.
 - 13-FAO. 2002. Proyecto TCP/CUB/0167. (E). Estudio básico para la formulación de un Programa de Drenaje y Lucha contra la Salinidad en Cuba. La Habana.
 - 14-Garcés, C.; Vermillion, D.; Muños, G. (2008). Transferencia de la gestión del riego. Esfuerzos y resultados globales. Informe de la FAO sobre temas hídricos 32. International Water Management Institute. Roma. ISBN: 978-92-5-305907-2.
 - 15-Garcés, C.; Vermillion, D.; Muños, G. (2008). Transferencia de la gestión del riego. Esfuerzos y resultados globales. Informe de la FAO sobre temas hídricos 32. International Water Management Institute. Roma. ISBN: 978-92-5-305907-2.
 - 16-Infante, S.; Ortega, J.; Cedeño, F. (2008). Estimación de datos faltantes en estaciones meteorológicas de Venezuela vía un modelo de redes neuronales. Revista de Climatología. Vol. 8 p: 51-70. ISSN 1578-8768.

- 17-INRH. (2014). Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Disponible en: [http://www.ecured.cu/index.php/Instituto Nacional de Recursos Hidr%C3%A1ulicos](http://www.ecured.cu/index.php/Instituto_Nacional_de_Recursos_Hidr%C3%A1ulicos) . Consultado el 10/08/14.
- 18-Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos INRH, 2011. Cubagua. [En línea]Availableat:<http://www.hidro.cu/>[Último acceso: 21 Septiembre 2015].
- 19-Machado, Y., Domínguez, I.M., Chacón, A., Suárez-Hernández, A.M. y Yera-Yera, Y. (2016). Caracterización de la precipitación y la precipitación efectiva en la Empresa Agropecuaria Yabú. Memorias VII Edición de la Conferencia Científica Internacional sobre Desarrollo Agropecuario y Sostenibilidad AgroCentro 2016. ISBN: 978-959-312-174-3.
- 20-Oficina Nacional de Estadísticas e Información de la República de Cuba, (2011). *Anuarios estadísticos de Cuba y sus territorios*, La Habana: s.n..
- 21- OMM (2011). Guía de Prácticas Climatológicas. Edición 2011. Ginebra Suiza. ISBN 978-92-63-30100-0 p-128.
- 22-Pacheco, J.; Alonso, R.; Pujol, P.; Camejo, E. (1995). Riego y Drenaje. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. Cuba. P-414.
- 23-Pacheco, J.; Carlesso, R.; Gómez. J. (2012). Conservación y ahorro de agua en la agricultura. España. Editorial Académica Española. 55p.
- 24-Pacheco, J.; Ismael, M.; Domínguez, Y.; Lamadrid, J.O. (2006). Lluvia y evapotranspiración de referencia en cuatro puntos representativos de la provincia de Villa Clara, Cuba. *Revista Centro Agrícola* No 4. Editorial Feijoó ISSN: 0253-5785. p. 67-68.
- 25-Pérez, R., Blanco, J. L., Piña, N., Pérez, A.G. (2010). Emisores, uniformidad de riego y rendimiento agrícola en pivotes para cultivos varios. *Rev. Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, Vol. 31, No. 1. pp 43-50.
- 26-Planos Gutiérrez, E., Rivero Vega, R. & Guevara Velazco, V. edits., 2013. Impacto del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba. Primera ed. La Habana: Instituto de Meteorología, Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- 27-Planos, E; Vega, R y A, Guevara, Editores, (2013). Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba. Instituto de Meteorología,

- Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Medio Ambiente y Tecnología. La Habana, Cuba, 430 pp. Editorial AMA, ISBN: 978-959-300-039-0.
- 28-Plummer, N. y otros, 2007. Directrices sobre la gestión de datos climáticos. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.
- 29-Santos, L.; Valero, J. A.; Picornell, María.; Tarjuelo, J. (2010). El Riego y sus Tecnologías. Centro Regional de Estudios del Agua. Universidad de Castilla- La Mancha. Albacete España. CREA-UCLM. ISBN: 13: 978-84-692-9979-1.
- 30-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. p-14.
- 31-Servicio Hidrológico Nacional. 2006. Nuevos logros en el estudio de la pluviosidad en Cuba: Mapa isoyético para el período 1961-2000. Voluntad Hidráulica, No. 98. La Habana. Servicio Hidrológico Nacional, Dirección de Cuencas, INRH.
- 32-Solano, O., Vazquez, R., Menéndez, J., Menéndez, C. (2003). Estudio de la evapotranspiración de referencia en Cuba. Revista Cubana de Meteorología. Vol. 10, No. 1. pp 33-38.
- 33-Tarjuelo, J. M. (2005). El riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundi- Prensa, pág. 318. Madrid, España.

Anexos.

Anexo 1. Probabilidad de excedencia y su correspondiente clasificación para los municipios de la provincia.

Tabla 10. Acumulados anuales de precipitación para la zona de Santo Domingo y probabilidad de excedencia

Año	Acumulados de precipitación (mm)	Probabilidad de excedencia (%)	Clasificación
1.999	1871,4	31,3	Medio húmedo
2.012	1623,3	92,1	Seco
2.008	1614,4	73,4	Medio seco
1.994	1584,3	7,9	Húmedo
2.003	1548	50	Medio
2.013	1519,1	96,7	Seco
2.007	1480,2	68,7	Medio seco
2.005	1433,6	59,3	Medio
1.996	1431,2	17,3	Húmedo
1.997	1379,7	22	Medio húmedo
2.000	1349,7	36	Medio húmedo
1.998	1313,5	26,6	Medio húmedo
2.010	1274,6	82,7	Seco
2.004	1203,4	54,7	Medio
1.993	1194,2	3,3	Húmedo
1.995	1189,3	12,6	Húmedo
2.009	1163,5	78	Medio seco
2.006	1154,8	64	Medio seco
2.011	1153,4	87,4	Seco
2.001	1107,9	40,7	Medio
2.002	1031,3	45,3	Medio

Tabla 6. Acumulados anuales de precipitación para la zona de Caibarién y probabilidad de excedencia.

Año	Acumulados de precipitación (mm)	Probabilidad de excedencia (%)	Clasificación
1.999	1861	31,3	Medio húmedo
1.996	1774,4	17,3	Húmedo
2.013	1699,9	96,7	Seco
2.008	1572,5	73,4	Medio seco
2.011	1506	87,4	Seco
2.012	1502,4	92,1	Seco
1.997	1442	22	Medio húmedo
2.000	1441,6	36	Medio húmedo
2.002	1397,3	45,3	Medio
2.007	1377,7	68,7	Medio seco
2.006	1369,4	64	Medio seco
2.001	1366,6	40,7	Medio
2.005	1325	59,3	Medio
1.994	1266	7,9	Húmedo
2.010	1239,5	82,7	Seco
2.003	1230,3	50	Medio
1.995	1188,1	12,6	Húmedo
1.998	1070,4	26,6	Medio húmedo
1.993	1049,6	3,3	Húmedo
2.009	1027,6	78	Medio seco
2.004	714,2	54,7	Medio

Tabla 12. Acumulados anuales de precipitación para la zona de Yabú y probabilidad de excedencia.

Año	Acumulados de precipitación anuales (mm)	Numero ordinal de la serie	Probabilidad de excedencia (%)	Clasificación
1.999	1.754,3	1	3,3	Húmedo
1.998	1.574,5	2	7,9	Húmedo
2.012	1.572,0	3	12,6	Húmedo
2.003	1.549,9	4	17,3	Húmedo
2.008	1.537,3	5	22,0	Medio húmedo
2.010	1.537,1	6	26,6	Medio húmedo
2.011	1.517,9	7	31,3	Medio húmedo
2.005	1.482,9	8	36,0	Medio húmedo
2.006	1.457,7	9	40,7	Medio
2.000	1.429,3	10	45,3	Medio
2.013	1.417,1	11	50,0	Medio
2.007	1.386,8	12	54,7	Medio
1.996	1.364,7	13	59,3	Medio
2.001	1.294,9	14	64	Medio seco
1.995	1.244,2	15	68,7	Medio seco
2.002	1.162,9	16	73,4	Medio seco
2.009	1.064	17	78	Medio seco
2.004	1.043,7	18	82,7	Seco
1.993	850,8	19	87,4	Seco
1.994	793,4	20	92,1	Seco
1.997	529,6	21	96,7	Seco

Anexo.2. Valores de la evapotranspiración de referencia para las estaciones de Villa Clara.

Tabla 13. Distribución temporal de la evapotranspiración de referencia media mensual de las estaciones de la provincia Villa Clara.

Meses/Eto	Estaciones de Villa Clara			
	INIVIT	Sagua	Yabú	Caibarién
Ene	3.1	2.8	2.9	2.3
Feb	3.8	3.4	3.6	2.8
Mar	4.5	3.9	4.2	3.3
Abr	5.1	4.4	4.8	3.8
May	5.2	4.6	4.9	4.0
Jun	5.1	4.6	4.8	4.1
Jul	5.2	4.6	4.9	4.2
Ago	5.0	4.6	4.8	4.1
Sep	4.6	4.1	4.3	3.7
Oct	3.8	3.3	3.5	2.9
Nov	3.2	2.7	2.9	2.4
Dic	2.9	2.6	2.7	2.1
Promedio	4.3	3.8	4.0	3.3