

CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA A TRAVÉS DEL MODELO CROPWAT BAJO CONDICIONES DE LOS LLANOS OCCIDENTALES VENEZOLANOS. ¿CUÁL MÉTODO UTILIZAR?*

Calculation of effective rain fall across the CropWat model low conditions of the venezuelan western plains. What method to use?

José Gabriel Vargas¹ y Nelys Escobar²

RESUMEN

Se realizó un estudio para conocer el método de mejor ajuste a las condiciones de los *Llanos Occidentales Venezolanos* (LOV) al determinar la *Precipitación Efectiva* (PE). Los métodos fueron agrupados en: "A" (*Precipitación confiable*; formula *FAO/AGLW* (PC-FAO), formula empírica (*F-Emp*) y *USDA Soil Conservation Service* (USDA)) y "B" (*Precipitación efectiva=0* (PE0) y *Porcentaje fijo* (% F)). Para "A", se generó una tabla de *Precipitación Total Simulada* (PTS) con PE calculada a través del modelo *CropWat v-8.0* (CW8) y sus porcentajes. Se determinó: análisis de varianza (ANDEVA), *Coefficientes de Correlación de Pearson* ("r") y prueba de comparación de medias (Tukey 5 %). Para todos los métodos fueron contrastadas sus características con los supuestos teóricos que definen los basamentos deseados para el correcto cálculo de la PE en la gestión del riego. Se encontró evidencias significativas ($P < 0,05$) para asegurar que existen diferencias entre métodos e intra métodos (grupo "A"). Para *USDA* la PE fue superior a 95 % cuando la PTS fue inferior a 32,1 mm y cero para *F-Emp* y *PC-FAO* cuando ésta fue inferior a 10,2 y 16,8 mm, respectivamente. *F-Emp* sobreestimó la PE entre 50,1 y 66,5 mm de PTS. *PC-FAO* y *F-Emp* se ajustan a suelos con pendientes inferiores a 5 % y exhiben estructuras matemáticas similares (*Estimación Lineal*). Se concluye que *PC-FAO* puede ser utilizado bajo condiciones de los LOV, mientras que *USDA* no, *F-Emp* requiere calibración regional, *PE0* se adecúa a situaciones de ambiente controlado y % F es útil donde las precipitaciones se mantengan dentro de rangos constantes (cultivos de ciclo corto).

Palabras clave: efectividad de la lluvia, precipitación total simulada y lluvia aprovechable.

ABSTRACT

A study was carried out to know the method that better adjust to the conditions of the Venezuelan Western Plains (VWP) when determining the Effective Precipitation (EP). The methods were grouped into: "A" (Reliable precipitation: FAO/AGLW formula (RP-FAO), empirical formula (Emp-F) and USDA Soil Conservation Service (USDA) and "B" (Effective precipitation = 0 (EP0) and Fixed Percentage (% F). For "A", was generated Simulated Total Precipitation (STP) table with EP calculated through the CropWat v-8.0 model (CW8) and its percentages. It was determined: variance analysis (ANDEVA), Pearson Correlation Coefficients ("r") and mean comparison test (Tukey 5 %). For all the methods were compared their characteristics with the theoretical assumptions that define the desired foundations for the correct calculation of EP in irrigation management. Significant evidence ($P < 0.05$) was found to ensure that there are differences between methods and intra methods (group "A"). For USDA the EP was higher than 95 % when the STP was less than 32.1 mm and zero for Emp-F and RP-FAO when it was less than 10.2 and 16.8 mm, respectively. Emp-F overestimated EP between 50.1 and 66.5 mm of STP. RP-FAO and Emp-F

(*)Recibido: 12-03-2018

Aceptado: 25-11-2018

¹Programa de Ciencias del Agro y del Mar. Universidad Ezequiel Zamora, UNELLEZ, Guanare 3350, Po. Venezuela. E-mail: vargasgijoseg@gmail.com

²Escuela Técnica Agropecuaria "Oscar Villanueva", Guanare 3350, Po. Venezuela

adjust to soils with slopes less than 5 % and exhibit similar mathematical structures (Linear Estimation). It is concluded that RP-FAO can be used under VWP conditions, while USDA does not, Emp-F requires regional calibration, PEO is suitable for controlled environment situations and % F is useful where rainfall remains within constant ranges (short cycle crops).

Key words: effective rainfall, total simulated precipitation and usable rain.

INTRODUCCIÓN

La precipitación pluvial es la principal fuente de agua para la producción agrícola en la mayor parte del mundo (Dastane 1975) y se constituye como el principal contribuyente para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos (Meseth y Yu 2014). Sin embargo, Dastane (1975) advirtió que las precipitaciones no son esencialmente útiles o convenientes en el momento, ritmo o magnitud de ocurrencia, y señaló que para la agricultura de secano, la PE significa lluvia útil o aprovechable por las plantas para su desarrollo.

En un sentido más amplio, Dastane (1975), Martínez y García (2004) y Malavé (2009) coincidieron en que la PE es aquella fracción de la Precipitación Total (PT) que permanece en el suelo para satisfacer las necesidades de agua de un cultivo y contribuir con su crecimiento, es decir, el agua que infiltra en el suelo y permanece al alcance de las raíces. No obstante, los meteorólogos no pueden evaluar el problema de la PE más que a partir de tablas de frecuencia, de la cantidad e intensidad de la lluvia o de los fenómenos físicos de la atmósfera (Dastane 1975).

Para facilitar este trabajo, Smith (1992) señaló el modelo de simulación virtual de la *Food Agriculture Organization* (FAO) llamado *CROPWAT*, desarrollado y concebido para el cálculo de los requerimientos hídricos de los cultivos, y con ello, el cálculo del calendario de riego. A este respecto, Smith (1992), Arteaga *et al.* (2011) y Morábito *et al.* (2015) reportaron que este modelo posibilita el cálculo de la PE para diferentes condiciones, al incluir cinco métodos: a) *PC-FAO*; fórmula empírica desarrollada en FAO/AGLW para estimar la lluvia confiable, b) *F-Emp*; métodos empíricos desarrollados localmente, c) *USDA*; ecuación desarrollada por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, d)

PEO; no considerada para las estimaciones de riego y e) *% F*; que representa la precipitación probable a una probabilidad dada de excedencia.

Por su parte, Da Silva *et al.* (2010) recomendaron el uso de diferentes métodos en función de la variabilidad climática, en la determinación de la PE para el manejo del riego en caña de azúcar en la localidad de Goiana, Pernambuco, Brasil, como son: a) *% F* al 20 % para años con anomalías positivas en el Atlántico Sur Tropical, b) *PC-FAO* ó *% F* al 50 % para años regulares (cuando no hay predominio de cualquier sistema atmosférico a gran escala) y para años de eventos El Niño, c) *USDA* para períodos lluviosos y d) *% F* al 80 % para períodos secos. Este último coincide con Arteaga *et al.* (2011), quienes basaron sus cálculos de PE en el método *% F* al 80 % en un estudio para planeación y manejo del recurso hídrico a través del programa *CW8* en Veracruz, México.

Morábito *et al.* (2015) reportaron el cálculo de la PE a través del método *USDA* para determinar su distribución espacial y la evapotranspiración del cultivo de referencia para las provincias del centro-noreste de Argentina. Por su parte, Cleves *et al.* (2016) analizaron la aplicabilidad de los modelos agroclimáticos de simulación de cultivos *CW8* y *Aqua Crop* bajo la ocurrencia de eventos ENOS (El Niño-Oscilación del Atlántico Sur) y de cambio climático, pero no argumentaron la escogencia de métodos en ambos modelos.

Vargas (2015) calculó la PE a partir del método *F-Emp*, por considerar que este presentó mejor ajuste a los razonamientos teóricos, luego del análisis conjunto con *USDA* y *PC-FAO*, asociados a un estudio de integridad de datos climáticos de una estación meteorológica ubicada en los LOV. Estos métodos no siempre son

representativos para cada situación, y en general, hay autores (Guntín *et al.* 2005, Guerrero 2010; Arteaga *et al.* 2011; Meseth y Yu 2014; Caicedo *et al.* 2015) que reportaron el uso del modelo *CW8* para determinar las necesidades de riego de los cultivos, sin mencionar el método utilizado o sus consideraciones para el cálculo de la PE, y de acuerdo con las diferencias entre métodos señalada por Dastane (1975), estos pudieron originar variación de los resultados en similares condiciones y el injusto cuestionamiento del método a seguir. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue conocer el método, de los incluidos en el modelo *CW8*, que mejor se ajusta para el cálculo de la PE bajo condiciones de los LOV.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio abarcó el área de los LOV, integrada por los estados Apure, Barinas y Portuguesa (INAMEH 2017), geográficamente ubicados en el centro occidente de Venezuela. Esta región posee un clima tropical lluvioso, con una época seca determinada por la alta presión del Atlántico y una época de lluvias generada por el avance de la zona de convergencia intertropical (Olivares *et al.* 2016). Exhibe una vegetación característica que corresponde al bosque seco tropical y sabanas según el sistema HOLDRIDGE (Ewel *et al.* 1976; Salas y Quero 1983).

Las precipitaciones son altas (1800-2000 mm.año⁻¹), aunque muy mal distribuidas y los suelos de origen aluvial, con altos contenidos de arcilla y arena muy fina, lo que favorece la compactación natural (Brito y De Brito 1983). La infiltración y el escurrimiento ocurren sobre pendientes muy bajas, entre 0,2 y 0,3 % (Brito y De Brito 1983) o menor al 1 %, por lo tanto la erosión hídrica es muy baja o muy débil y muy localizada (Salas y Quero 1983).

Los métodos de cálculo de PE incluidos en el modelo *CW8* fueron separados en dos grupos para su posterior análisis: a) con análisis numérico: *USDA*, *F-Emp* y *PC-FAO* y b) sin análisis numérico: *% F* y *PE0*. Para el grupo A, se generó una tabla de PTS mensual (Tabla 1), con 232 valores comprendidos entre 0,1 y 540,1 mm, se

consideró el valor máximo de precipitación (519 mm) reportado para el mes de agosto del año 1993 por el INAMEH (2017) para una estación de los LOV (estación meteorológica del Aeropuerto Nacional Virgen de Coromoto serial 2296, ubicada en Guanare, estado Portuguesa a 9,0427° de latitud y -69,76° de longitud), con el propósito de establecer un umbral superior como límite de seguridad y así evitar que valores reales, queden excluidos de la tabla de valores simulados. Los incrementos fueron realizados de forma secuencial cada 2,0 mm desde el origen hasta los 150,1 mm y 2,5 mm a partir de allí hasta la cifra máxima señalada, con la finalidad de obtener intervalos reducidos que permitan detectar posibles anomalías.

Se calcularon los valores de PE para cada método, mediante el empleo del modelo *CW8*. A los resultados obtenidos se les determinó el porcentaje de PE (% PE) y el gradiente de PE (ΔPE) dados por $\% PE = (PE/PTS) \cdot 100$ y $\Delta PE = PE_{(siguiente)} - PE_{(anterior)}$. Se efectuó un análisis de la varianza de dos factores con una sola muestra por grupo (ANDEVA; $P < 0,05$) entre métodos (resultados esperados de PE entre métodos) y dentro de los métodos (resultados esperados de PE a partir de un mismo valor de PTS), con el propósito de determinar alguna desigualdad entre las medias (Tabla 2) y se calculó el Coeficiente de Variación (CV) para comprobar la confiabilidad de los datos y el modelo de diseño (Negrín 1982), a través del programa Excel 2007. Finalmente, fueron determinados los “r” para ratificar la existencia de diferencias entre métodos.

Los valores de % PE fueron graficados y luego determinadas las líneas de tendencia con sus funciones de ecuación para cada método, según la expresión matemática de mejor ajuste, dadas por el mayor R^2 . Se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % y los resultados fueron comparados con valores tabulados: Tabla de Fischer (Negrín 1982). Finalmente, para ambos grupos, el análisis de métodos fue realizado al contrastar las características propias de cada uno, con los supuestos teóricos que definen los conceptos y basamentos deseados para un correcto cálculo de la PE para su uso en la gestión del riego.

Tabla 1. Valores resumidos de Precipitación Total Simulada (PTS), Precipitación Efectiva y su Gradiente (variación).

| N° | PTS (mm) | | Precipitación Efectiva (%) | | | Gradiente de PE (mm) | | |
|-----|----------|------------|----------------------------|-------|--------|----------------------|-------|--------|
| | Valor | Incremento | USDA | F-Emp | PC-FAO | USDA | F-Emp | PC-FAO |
| 1 | 0.1 | ----- | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 2.1 | 2.00 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 4.1 | 2.00 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 6.1 | 2.00 | 98.36 | 0.00 | 0.00 | -1.64 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | 8.1 | 2.00 | 98.77 | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 10.1 | 2.00 | 98.02 | 0.00 | 0.00 | -0.75 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | 12.1 | 2.00 | 98.35 | 8.26 | 0.00 | 0.33 | 8.26 | 0.00 |
| 8 | 14.1 | 2.00 | 97.87 | 14.18 | 0.00 | -0.47 | 5.92 | 0.00 |
| 9 | 16.1 | 2.00 | 97.52 | 19.25 | 0.00 | -0.36 | 5.07 | 0.00 |
| 10 | 18.1 | 2.00 | 97.24 | 22.65 | 4.97 | -0.28 | 3.40 | 4.97 |
| ⋮ | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |
| 76 | 150.1 | 2.00 | 76.02 | 83.34 | 64.02 | -0.28 | -0.18 | 0.22 |
| 77 | 152.6 | 2.50 | 75.56 | 83.09 | 64.29 | -0.46 | -0.25 | 0.26 |
| 78 | 155.1 | 2.50 | 75.18 | 82.91 | 64.54 | -0.38 | -0.18 | 0.25 |
| ⋮ | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |
| 231 | 537.6 | 2.50 | 33.26 | 73.72 | 75.54 | -0.10 | -0.03 | 0.02 |
| 232 | 540.1 | 2.50 | 33.14 | 73.71 | 75.56 | -0.12 | -0.01 | 0.02 |

Tabla 2. Modelo de agrupación de datos para el ANDEVA

| PTS | PE calculada | | | Dentro de los métodos |
|---------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|
| | USDA | F-Emp | PC-FAO | |
| 1 | X _i | X _i | X _i | |
| 2 | X _i | X _i | X _i | |
| ⋮ | ... | ... | ... | |
| n | X _i | X _i | X _i | |
| Entre métodos | | | | |

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Métodos incluidos en el grupo A

El ANDEVA refleja diferencias ($P < 0,05$) entre métodos y dentro de los métodos incluidos en el modelo *CW8* para el cálculo de la PE, aunque el CV (25,93 %) fue superior al valor máximo (20 %) recomendado por Negrín (1982), y de acuerdo con este autor, esto sugiere poca confiabilidad en los datos o el modelo estadístico

utilizado no fue el adecuado. No obstante, el “r” ratifica la existencia de diferencias entre métodos (Tabla 3), ya que aunque *PC-FAO* y *F-Emp* evidencian igualdad estadística al tiempo que exhiben mayores valores de “r” y proximidad a una correlación perfecta positiva, *USDA* difiere de éstos desde el punto de vista estadístico y su menor valor de “r” se aleja de la perfección (Negrín 1987).

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Pearson.

| USDA | F-Emp | PC-FAO |
|--------------|--------------|--------------|
| 0,91004138 a | 0,99763879 b | 0,99964002 b |

Nota: Letras iguales indican que no hay diferencias (Tuckey, $P < 0,05$)

En la Figura 1 se aprecian las curvas de % PE. Para *USDA* la PE fue inversa a la PTS, ya que sus valores se incrementan cuando estos disminuyen, es decir, predice mayor efectividad de la lluvia a menor valor de PT y viceversa. Además

USDA predice como 100 % efectiva la PTS a valores inferiores a 5,6 mm y superior al 95 % cuando es inferior a 32,1 mm.

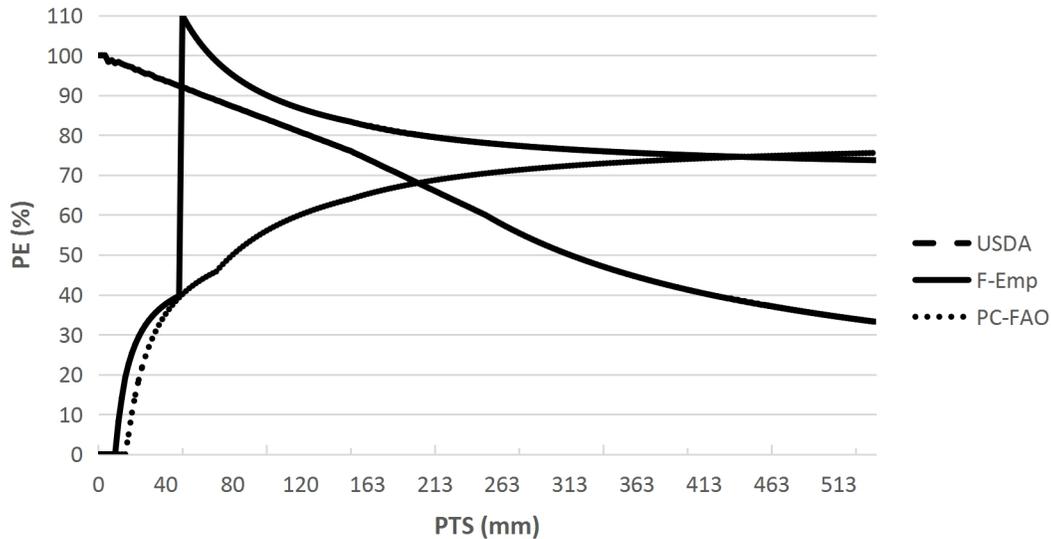


Figura 1. Porcentaje de PE en función de la PTS

Grassi (1993, 1998 y 2001) señaló el uso de valores tabulados para la determinación directa de la PE a través del método USDA, en la que se considera la precipitación media mensual, la evapotranspiración media mensual, la lámina neta de riego y el uso consuntivo del cultivo (por etapa de desarrollo). No obstante, Smith (1992) advirtió que la lluvia total y no la PE, es utilizada para los cálculos del balance hídrico y que las lluvias efectivas se calculan a lo largo de crecimiento total.

Por su parte, Da Silva *et al.* (2010) aseguraron que USDA fue desarrollado mediante balances de agua relativos a la entrada de la precipitación en el suelo y sus salidas (escorrentía e infiltración), así como el agua retenida en la zona radical para varios cultivos. Sin embargo, estos factores no son considerados por el modelo CW8, ya que este permite calcular la PE independientemente de la información climática, edáfica y/o de cultivo e impide el cálculo de la PE por periodo vegetativo.

F-Emp y PC-FAO no consideran efectividad de la precipitación ($PE=cero$) a valores inferiores a 10,2 mm y 16,8 mm, respectivamente. Esto se ajusta a lo señalado por Dastane (1975), quien advirtió que para la agricultura de riego, menos de

10 mm de precipitación a menudo no son significativos en los programas de riego y que deben ser tratados como ineficaces, mientras que Allen *et al.* (2006) aseguraron que las bajas precipitaciones son poco efectivas, pues se pierden rápidamente por evaporación. No obstante, Irigoyen *et al.* (1998) afirmaron que una intensidad de 20 mm.h^{-1} es totalmente efectiva para todas las duraciones, pero que a intensidades superiores a los 50 mm.h^{-1} se verifica un descenso de la PE. Sin embargo, aunque el modelo CW8 admite valores de PT diaria, decadiaria y mensual, no considera cada evento particular (intensidad, duración o frecuencia) ya que la PE es mostrada solo en formatos decadiario o mensual con variaciones en los resultados.

Con PC-FAO se aprecia un incremento regular del porcentaje de PE, que solo tiende a la estabilización, aunque sin llegar a descender, pero con gradiente muy bajo, mientras que F-emp exhibe un incremento similar hasta los 50,1 mm, a partir del cual y hasta los 66,5 mm la curva no solo sufre una desviación abrupta, sino que además sobrestima la PE (mayor a 100% de la PTS) para luego descender al disminuir progresivamente su gradiente. Esto evidencia la necesidad de ajustar los Coeficientes de Correlación de Ajuste Local

(CAL) mencionados por Arteaga *et al.* (2011) y Morábito *et al.* (2015) a las condiciones locales y de considerar la afectación por la estacionalidad climática que sufre la PE señalada por Da Silva *et al.* (2010), ya que estos pueden ser determinados a partir de un análisis de registros climáticos locales (Smith 1992), y tal ajuste a las condiciones locales de los LOV, contribuirían a la sensibilización del método F-Emp a los conceptos teóricos señalados por Dastane (1975) y Allen *et al.* (2006).

En la Tabla 4 se presentan las ecuaciones y tipo de función que mejor ajuste presentaron a las tendencias exhibidas por las curvas de % PE para cada método, calculadas en función del mayor valor de R². Para USDA la ecuación de mejor ajuste está representada por una tendencia polinómica de 2do grado y un R² = 0,9964. Estos resultados se asemejan a los reportados por Vargas (2015), quien encontró un R² de 0,9956 pero con una tendencia Exponencial ($y = 1,0421e-0,002x$). No obstante, los altos valores de R² exhibidos en ambos trabajos, solo demuestran el ajuste matemático debido a la poca inflexión de la curva.

Con F-Emp se alcanzó un R² de 0,8368 con una tendencia Polinómica de 6^{to} grado. Aunque resultados similares fueron encontrados por Vargas (2015), quien reportó una tendencia Polinómica de 5^{to} grado ($y = 2E-13x^5 - 5E-10x^4 + 4E-07x^3 - 0,0001x^2 + 0,0196x - 0,1295$) para este método, pero con un valor superior de R² (0,9371), esto se debió al menor número de datos de PTS (n= 12) utilizados y a un amplio margen de incremento entre estos (40 y 41 mm), lo que impidió la identificación de anomalías en los cálculos que originan inflexión abrupta de la curva.

PC-FAO presenta una tendencia Logarítmica y un ajuste del R² de 0,9308. Esta ecuación de tendencia coincide con la reportada por Vargas (2015) ($y = 0,171\ln(x) - 0,2562$), aunque su R²

obtenido fue 0,9845. Sin embargo, al modificar la tendencia de la curva a una función Polinómica de 5^{to} grado, el valor del R² se incrementó hasta 0,9901, con la salvedad de una ecuación más compleja. Por otra parte, PC-FAO fue desarrollado para estimar el efecto combinado de precipitación confiable (80 % de exceso de probabilidad) y pérdidas estimadas por escorrentía e infiltración en climas áridos y sub-húmedos (Smith 1992 y Da Silva *et al.* 2010), lo que podría comprometer su uso bajo las condiciones de los LOV. Este método puede ser usado para propósitos de diseño donde se requiere 80 % de probabilidad de excedencia (Smith 1992).

F-emp fue desarrollado para ser ajustado localmente (Smith 1992; Arteaga *et al.* 2011 y Morábito *et al.* 2015), y al igual que PC-FAO, este método se ajusta a las condiciones de suelos con pendientes inferiores al 5% (Veenhuizen 2000), parámetro que contribuye significativamente a las pérdidas de precipitación por escorrentía, que conjuntamente con el drenaje, son las variables de mayor dificultad de medición para la determinación de la PE real (Irigoyen *et al.* 1998). Así, PC-FAO fue empleado por Arteaga *et al.* (2011) para el cálculo de la PE a una probabilidad de 80 % de excedencia (clima seco, de acuerdo con Sampaio *et al.* citados por Da Silva *et al.* 2010).

F-Emp y PC-FAO exhiben estructuras de Función de Estimación Lineal (Negrín, 1982), diferenciadas solo por los valores de CAL determinados para cada método, bajo condiciones F- particulares (Tabla 5) y dado que el modelo CW8 admite la modificación de los parámetros de esta ecuación para F-Emp, resulta conveniente realizar una calibración regional para determinar los valores de CAL (a y b) de acuerdo con Morábito *et al.* (2015), antes de ser empleado en el cálculo de la PE bajo condiciones de los LOV.

Tabla 4.- Funciones de tendencia y R² para la PE en cada método.

| Método | Función | Ecuación | R ² |
|--------|----------|---|-------------------------|
| USDA | Pol (2G) | $y = 0,0006x^2 - 0,4262x + 103,49$ | R ² = 0,9964 |
| F-Emp | Pol (6G) | $y = -8E-12x^6 + 1E-08x^5 - 5E-06x^4 + 0,001x^3 - 0,1178x^2 + 6,2372x - 29,955$ | R ² = 0,8368 |
| PC-FAO | Log | $y = 18,51\ln(x) - 21,507$ | R ² = 0,9308 |
| | Pol (5G) | $y = 9E-10x^5 - 7E-07x^4 + 0,0002x^3 - 0,0324x^2 + 2,4915x - 10,964$ | R ² = 0,9901 |

Nota: Pol (2G; 5G y 6G) = Polinomio (2^{do}, 5^{to} y 6^{to} grado) y Log = logarítmica.

Tabla 5.- Funciones de Estimación Lineal para F-Emp y PC-FAO.

| Para P mensual | PC-FAO | F-Emp |
|----------------|--------------|--------------|
| < = 70mm | 0,6 * P - 10 | ---- |
| > 70mm | 0,8 * P - 24 | ---- |
| < = 50mm | ---- | 0,5 * P - 5 |
| > 50mm | ---- | 0,7 * P - 20 |

Para F-Emp los valores de a y b son asumidos por defecto en el modelo CW8

Métodos incluidos en el grupo B

Con PEO, el modelo CW8 ignora los datos de precipitación durante los cálculos de los requerimientos de riego (RR). Como la PE adquiere valores de cero, los RR del cultivo son basados exclusivamente en los cálculos de la evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar, igualándolos a estos, en contraste de lo señalado por Annandale *et al.* (2002) quienes definieron los RR como la diferencia entre la PT y la PE. Esto trae como consecuencia una sobrestimación de los RR de cultivos en condiciones de campo, puesto que cualquier aporte hídrico por las precipitaciones no será considerado. Por tal motivo, este método puede adecuarse mejor a situaciones de ambiente controlado donde los aportes hídricos suceden exclusivamente a través del riego, ya que de acuerdo con Vargas (2015) este fundamento no es representativo de las condiciones reales de cultivos en campo.

Por otro lado, Smith (1992) y Cleves *et al.* (2016) señalaron que con el método % F, la PE es igual a la PT multiplicada por un coeficiente (Coef) menor que la unidad, dada por: $PE = Coef * PT$; donde el "Coef" representa un porcentaje fijo que el usuario selecciona para dar cuenta de las pérdidas por escorrentía e infiltración profunda y que normalmente varían entre 10 y 30 %, por lo tanto, el Coef adquiere valores entre 0,7 y 0,9. No obstante, Smith (1992) y Sampaio *et al.* (2000) señalaron que para un año húmedo es aplicable un 20 % de probabilidad de excedencia, 50 % es conveniente para un año normal (acercándose a la media) y que 80 % es útil para un año seco (con exceso de precipitación en 4 de 5 años).

Al seleccionar la opción “volver a configuración FAO por defecto” desde el menú “opciones de configuración” para PE, el modelo

CW8 asume el valor de 80 % (señalado para año seco). No obstante, el modelo CW8 permite el cambio de este porcentaje a juicio del programador, por lo que Meseth y Yu (2014) utilizaron 75 % para el cálculo de la PE, en un estudio para mejorar los calendarios de cultivo para agricultura de secano en Ceja de Selva, por considerarlo como valor fijo de la PT utilizada por los cultivos. Sin embargo, mientras más húmedo es el año, menor será el porcentaje de lluvia que será retenido en el suelo y disponible para las plantas.

Los regímenes de alternancia anual de las precipitaciones en los LOV (INAMEH 2017), dificultan la identificación de años lluviosos y secos, igualmente, los cultivos anuales enfrentan condiciones alternas de excesos y déficits hídricos. Esto sugiere variación de los porcentajes a ser fijados para el cálculo de la PE en caso de cultivos anuales. Por lo tanto, el método % F puede ser más útil en situaciones donde los volúmenes hídricos aportados por las precipitaciones se mantengan dentro de rangos constantes o cuando las variaciones pluviométricas no sean estadísticamente significativas, como por ejemplo, en cultivos de ciclo corto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El incremento del % PE para PC-FAO se ajusta a los basamentos teóricos. Éste método no considera efectividad de la precipitación (cero) cuando la PT sea inferior a 16,8 mm y se ajusta a condiciones de suelos con pendientes inferiores al 5 %, por lo tanto, puede ser utilizado bajo condiciones de los LOV.

Aunque USDA exhibe un alto R^2 , este método supone que la efectividad de la lluvia será inversamente proporcional a la PT, es decir, si $PT \uparrow \rightarrow PE \downarrow$, y viceversa. También predice que la PE

será 100 y 95 % cuando PT sea inferior a 5,6 y 32,1 mm, respectivamente. Por lo tanto, no es adecuado para el cálculo de la PE bajo condiciones de los LOV.

F-Emp no considera efectividad de la precipitación a valores de PT inferiores a 10,2 mm, pero requiere calibración regional para determinar los valores de CAL (a y b) bajo condiciones de los LOV, antes de poder emplearlo en el cálculo de la PE, debido a sobrestimación del % PE cuando la PT oscile entre los 50,1 y 66,5 mm.

El método *PE0* sobreestima los valores de RR totales de cultivos en condiciones de campo, debido a que el modelo *CW8* permite el cálculo de la PE sin información climática, edáfica o de cultivo, por lo que se recomienda su uso en situaciones de ambiente controlado, mientras que el método % *F* puede ser útil en situaciones donde las variaciones de los volúmenes hídricos aportados por las precipitaciones no sean significativos o se mantengan dentro de rangos constantes, como por ejemplo cultivos de ciclo corto.

REFERENCIAS

- Allen, D., Pereira, M. and Smith, R. 2006. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO. 1^{er} edición. Roma, Italia. Irrigation and Drenaje Paper N° 56:322 p.
- Annandale, J., Jovanovic, N., Benadé, N. and Allen, R. 2002. Software for missing data error analysis of Penman-Monteith reference evapotranspiration. Irrigation Science 21(2): 57-67.
- Arteaga, R., Ángeles, V. y Vázquez, M. 2011. Programa CROPWAT para planeación y manejo del recurso hídrico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2(2): 179-195.
- Brito, P. y J. de Brito, 1983. Caracterización agroclimática de la región de los Llanos Occidentales Venezolanos y sus relaciones con el ciclo del maíz. FONAIAP- CENIAP. Maracay.
- Caicedo, O., Balmaseda, C. y Proaño, J. 2015. Programación del riego del banano (*Musa paradisiaca*) en finca San José 2, Los Ríos, Ecuador. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 24(2): 18-22.
- Cleves, J., Toro, J. y Martínez, L. 2016. Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 10(1): 149-163.
- Da Silva, A., De Lima, F., Da Silva, A. e Moura, G. 2010. Valores efetivos de precipitação pluvial para manejo da irrigação na cana-de-açúcar em Goiana, Pernambuco. Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife 5(4): 585-591.
- Dastane, N. 1975. Effective rainfall in irrigated agricultura. 2^{da} edición. FAO. Roma, Italia. Irrigation and Drenaje Paper N° 25: 62 p.
- Ewel, J., Madriz, A. y Toso, J., 1976. Zonas de vida de Venezuela. In memorias sobre el mapa ecológico. FONAIAP. Caracas. Esc. 1:100.000.
- Grassi, C. 1993. Fundamentos del riego. Serie Riego y Drenaje, RD-38. 2^{da} edición. Talleres gráficos del CIDIAT. Mérida. 409 p.
- Grassi, C. 1998. Formulación de proyectos de riego y drenaje. Talleres gráficos del CIDIAT. Mérida. 241p.
- Grassi, C. 2001. Operación y mantenimiento de sistemas de riego. Serie Riego y Drenaje. RD-44. Segunda edición. Talleres gráficos del CIDIAT. Mérida. 273 p.
- Guerrero, J. 2010. Evaluación del riego por surcos alternos y continuos para el uso eficiente del agua en el cultivo caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Tesis MSc. UNELLEZ, Guanare. 153 p.

- INAMEH. 2017. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. [Documento en línea].En: <http://www.inameh.gob.ve> [enero de 2017].
- Irigoyen, A., Suero, E. y Gardiol, J. 1998. La precipitación efectiva como componente del balance de agua en un Paleudol Petrocálcico de Balcarce: Eventos de precipitación simulada. *Conference In X Congreso Brasileiro de Meteorologia y VIII Congreso da Federación Latinoamericana e Ibérica de Sociedades de Meteorologia*.Brasilia, Brasil. Volume: 1.
- Malavé, V. 2009. Índice de vegetación normalizado como herramienta para la estimación de disponibilidad de agua superficial en cuencas hidrográficas. Tesis MSc. Universidad del Zulia, Maracaibo. 283 p.
- Martinez, A. y García, M. 2004. Revisión de las necesidades hídricas netas de los cultivos de la cuenca del Ebro. Confederación Hidrográfica del Ebro. [documento en línea]. En: <http://hdl.handle.net/10261/15896> [diciembre de 2016].
- Meseth, E. y Yu, J. 2014. Mejora en los calendarios de cultivo para agricultura de secano en ceja de selva. *Scientia Agropecuaria* (5): 187-197.
- Morábito, J., Salatino, S., Hernández, R., Schilardi, C., Álvarez, A. y Rodríguez, P. 2015. Distribución espacial de la evapotranspiración del cultivo de referencia y de la precipitación efectiva para las provincias del centro-noreste de Argentina. *Rev. FCA UNCUYO* 47(1): 109-125.
- Negrín, A. 1982. Iniciación a la estadística. 1^{er} edición. Editorial José Martí. Caracas.466 p.
- Olivares, B., Cortez, A., Lobo, D., Parra, R. Rey, J. y Rodríguez, M. 2016. Estudio de la Sequía Meteorológica en Localidades de los Llanos de Venezuela Mediante el Índice de Precipitación Estandarizado. *Revista Acta Nova* 7(3): 266-283.
- Salas, S. y Quero, A. 1983. Inventario nacional de suelos, Guanare, Portuguesa: Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, Centro cartográfico y Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Dirección General de Información e Investigación.Caracas. Esc. 1:100.000.
- Smith, M. 1992. CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management.1^{er} edición. FAO. Roma, Italia. Irrigation and Drenaje Paper N° 46.
- Veenhuizen, R. 2000. Manual de Captación y Aprovechamiento del agua de lluvia. Revisión de Bases Técnicas. [documento en línea].En: <http://www.fao.org/docrep/pdf/010/ai128s/ai128s01.pdf>. [enero de 2017].
- Vargas, J. 2015. Validación del modelo CropWat en suelo Insectisol bajo cultivo comercial de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Tesis MSc. UNELLEZ, Guanare. 89 p.