



IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2018

Aguascalientes, Ags., del 15 al 18 de octubre de 2018

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

José Gabriel Vargas González^{1*}; Nelys Maribel Escobar Abreu²

¹Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ-Guanare), Portuguesa, Venezuela.

vargasgjoseg@gmail.com – 58 426-5526981 (*Autor de correspondencia)

²Escuela Técnica Agropecuaria "Oscar Villanueva", Guanare, Portuguesa, Venezuela

Resumen

Se realizó un estudio para precisar 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 un 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 32.1mm y cero para F-Emp y PC-FAO cuando ésta fue inferior a 10.2 y 16.8mm, respectivamente. F-Emp sobreestimó la PE entre 50.1 y 66.5mm 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 adecuaba 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.

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 (riego), 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 éste modelo posibilita el cálculo de la PE para diferentes condiciones, al incluir cinco métodos; a) $%F$; que representa la precipitación probable a una probabilidad dada de excedencia, b) $PE0$; no considerada para las estimaciones de riego, c) PC -FAO; fórmula empírica desarrollada en FAO/AGLW para estimar la lluvia confiable, d) F -Emp; métodos empíricos desarrollados localmente y e) *USDA*.

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 chuviosos y d) $%F$ al 80% para períodos secos. Éste 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 de 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 *AquaCrop* bajo la ocurrencia de eventos ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) y de cambio climático, sin argumentación para la escogencia de métodos en ambos trabajos.

Por su parte, Vargas (2015) calculó la PE a partir del método *F-Emp*, por considerar que éste presentó mejor ajuste a los razonamientos teóricos, luego de analizarlo conjuntamente con *USDA* y *PC-FAO*, asociados a un estudio de integridad de datos climáticos de una estación meteorológica ubicada en los LOV. De tal modo, que éstos métodos no siempre son representativos para cada situación, y en general, muchos autores (Guerrero (2010), Arteaga *et al.* (2011), Meseth y Yu (2014), Caicedo *et al.* (2015), entre otros) que reportaron el uso del modelo *CW8* para determinar las necesidades de riego de los cultivos, no especificaron el método utilizado o sus consideraciones para el cálculo de la PE, y de acuerdo con las diferencias entre métodos señalada por Dastane (1975), éstos 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 precisar el método, de los incluidos en el modelo *CW8*, de mejor se ajuste para el cálculo de la PE bajo condiciones de los LOV.

Materiales y Métodos

El estudio abarca 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) y Salas y Quero (1983)). Las precipitaciones son altas (1800-2000mm año⁻¹), aunque muy mal distribuidas, y sus suelos de origen aluvial, presentan 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 540.1mm, considerando el valor máximo de precipitación (519mm) 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 la ciudad de 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 2.0mm desde el origen hasta los 150.1mm y 2.5mm a partir de allí hasta la cifra máxima señalada, con la finalidad de obtener intervalos reducidos que permitan detectar posibles anomalías.



Tabla 1. Valores resumidos de Precipitación Total Simulada, 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

Nota: ⋮ = Continuidad secuencial de valores

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 (Δ PE) dados por:

$$\%PE = (PE/PTS) \cdot 100 \quad (1)$$

$$\Delta PE = PE_{(mayor)} - PE_{(menor)} \quad (2)$$

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 si existe 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 de las herramientas para análisis estadísticos y técnicos del programa Excel 2007. Finalmente, fueron determinados los “r” para ratificar la existencia de diferencias entre métodos.

Tabla 2. Modelo de agrupación de datos para el ANDEVA

Tabla 2. Métodos de agrupación de datos para el análisis de la			
PTS	PE calculada		
	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			
Dentro de los 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 sus 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.

Resultados y Discusión

Métodos incluidos en el grupo A

El ANDEVA refleja evidencias significativas ($P < 0,05$) para asegurar que existen diferencias entre métodos y dentro de los métodos incluidos en el modelo CW8 para el cálculo de la PE. No obstante, el CV de 25.93% es superior al valor máximo de 20% recomendado por Negrín (1982), esto sugiere confiabilidad en los datos o que el modelo estadístico utilizado no es adecuado. Sin embargo, el “r” ratifica la existencia de diferencias entre métodos (tabla 3), ya que aunque *PC-FAO* y *F-Emp* evidencian igualdad estadística al exhibir los mayores valores de “r” y proximidad a una correlación perfecta positiva, *USDA* difiere de estos desde el punto de vista estadístico y su menor valor de “r” se aleja de tal perfección (Negrín 1987).

Tabla 3. Coeficientes de correlación de *Pearson*

<i>USDA</i>	<i>F-Emp</i>	<i>PC-FAO</i>
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 muestran 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 una mayor efectividad de la lluvia a menor valor de PT y viceversa. Además, *USDA* predice como 100% efectiva la PTS a valores inferiores a 5.6mm y superior al 95% cuando ésta es inferior a 32.1mm.

Grassi (1993, 1998, 1999 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 precipitación efectiva se utiliza para los cálculos del balance hídrico y que las lluvias efectivas se calculan a lo largo de la temporada 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 éste permite calcular la PE independientemente de la información climática, edáfica y/o de cultivo e impide el cálculo de la PE por periodos vegetativos.

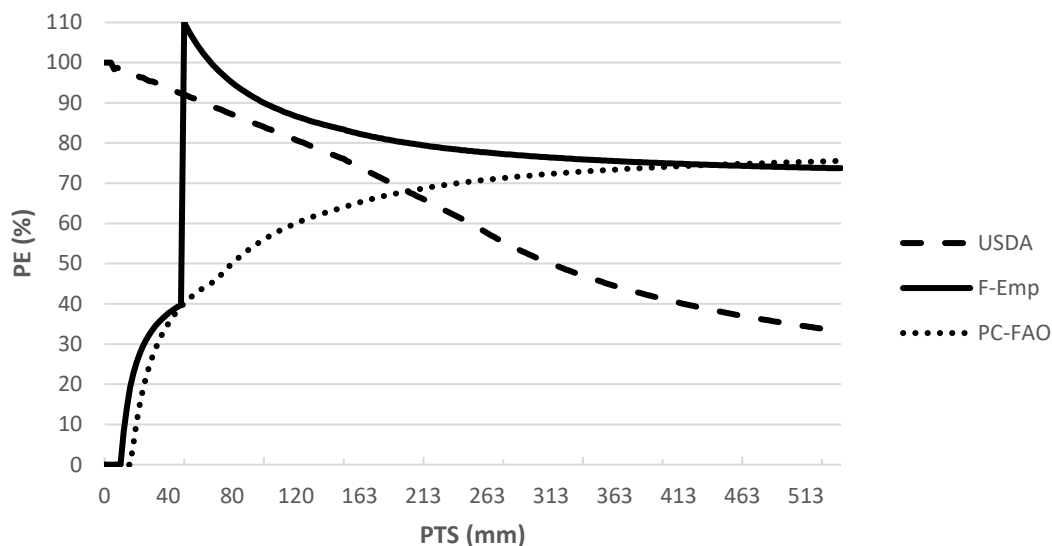


Figura 1. Porcentaje de PE en función de la PTS

F-Emp y *PC-FAO* no consideran efectividad de la precipitación (cero) a valores inferiores a 10.2mm y 16.8mm, respectivamente. Esto se ajusta a lo señalado por Dastane (1975), quien advirtió que para la agricultura de riego, menos de 10mm de precipitación a menudo no son significativos en los programas de riego, y que por lo tanto, 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 20mm h^{-1} es totalmente efectiva para todas las duraciones, pero que a intensidades superiores a los 50mm h^{-1} se verifica un descenso de la PE. Sin embargo, aunque el modelo *CW8* admite valores de PT diaria, decadiaria y mensual, éste 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 50.1mm, a partir del cual y hasta los 66.5mm, 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 R^2 . Para *USDA* la ecuación de mejor ajuste

está representada por una tendencia *polinómica de 2^{do} grado* y un $R^2 = 0.9964$. Estos resultados se asemejan a los reportados por Vargas (2015), quien encontró un R^2 de 0.9956 pero con una tendencia *Exponencial*:

$$y = 1.0421e^{-0.002x} \quad (3)$$

No obstante, los altos valores de R^2 exhibidos en ambos trabajos, solo demuestran el ajuste matemático debido a la poca inflexión de la curva.

Tabla 4. Funciones de tendencia y R^2 para PE para cada método.

Método	Función	Ecuación	R^2
USDA	Pol (2G)	$y = 0.0006x^2 - 0.4262x + 103.49$	$R^2 = 0.9964$
<i>F-Emp</i>	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.

Con *F-Emp* se alcanzó un R^2 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* para este método:

$$y = 2E-13x^5 - 5E-10x^4 + 4E-07x^3 - 0.0001x^2 + 0.0196x - 0.1295 \quad (4)$$

pero con un valor superior de R^2 (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 41mm), 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 R^2 de 0.9308. Esta ecuación de tendencia coincide con la reportada por Vargas (2015):

$$y = 0.171\ln(x) - 0.2562 \quad (5)$$

aunque su R^2 reportado fue 0.9845. Sin embargo, al modificar la tendencia de la curva a una función *Polinómica de 5^{to} grado*, el valor del R^2 se incrementó hasta 0.9901, solo 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*, éste 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.* (2000) 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 particulares (Tabla 5), y dado que el modelo *CW8* admite la modificación de los parámetros de ésta 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 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 *PE0*, 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 "Coef" representa un porcentaje fijo que el usuario selecciona para dar cuenta de las pérdidas por escorrentía e infiltración profunda y que normalmente éstas están alrededor del 10 al 30%, por lo tanto el Coef adquiere valores entre 0.7 y 0.9. No obstante, Smith (1992) y Sampaio *et al.* (2000) citados por Da Silva *et al.* (2010) señalaron que para un año húmedo es aplicable un 20% de probabilidad de excedencia, que 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 un 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, así mismo, 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 16,8mm 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. Así mismo, predice que la PE será 100 y 95% cuando PT sea inferior a 5.6 y 32.1mm, 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 10,2mm, 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 66.5mm.

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 por su parte, 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 Bibliográficas

Allen, D., Pereira, M. and Smith, R. 2006. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. 1er edición. Roma, Italia: FAO, 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.
- 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*. 2da edición. Roma, Italia: FAO, 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*. Caracas, FONAIAP.
- Grassi, C. (1993). *Fundamentos del riego*. Serie Riego y Drenaje, RD-38. 2da edición. Mérida: Talleres gráficos del CIDIAT. 409 p.
- Grassi, C. (1998). *Formulación de proyectos de riego y drenaje*. Mérida: Talleres gráficos del CIDIAT. 241 p.
- Grassi, C. (1999). *Drenaje de tierras agrícolas*. 2da edición. Mérida: Talleres gráficos del CIDIAT.
- Grassi, C. (2001). *Operación y mantenimiento de sistemas de riego*. Serie Riego y Drenaje. RD-44. Segunda edición ed. Mérida: Talleres gráficos del CIDIAT. 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. [En línea] En: <http://www.inameh.gob.ve> [Consulta 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. Brasilia, Brasil. In X Congresso Brasileiro de Meteorologia y VIII Congresso da Federación Latinoamericana e Ibérica de Sociedades de Meteorología.
- 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.
- Martínez, 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> [consulta 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. 1er edición. Caracas: Editorial José Martí. 466pp.
- 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.
- Smith, M. 1992. CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management. 1er edición. Roma, Italia: FAO, 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>. [consulta enero 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.