

Metodología de Evaluación de Veranillos y de Siembra Temprana como Estrategia para Minimizar sus Efectos¹

G Carmona*, R Radulovich*

ABSTRACT

Severe yield losses are attributed to periodic water shortages during the rainy season along the west coast of Central America, called "veranillos". In this study, veranillos were evaluated using data from two meteorologic stations in Costa Rica and employing three methodologies. This was followed by a simulative analysis of their severity, using the daily water balance model AQUA. The strategies designed to minimize the effects of veranillos, basically avoidance or confrontation of the periods with more severe water deficit, required a method to clearly determine the earliest safe planting date of each year. This method, based on probabilistic and actual rainfall analysis, and on water balance and other considerations, aims at safely maximizing the efficiency in the use of rainfall. The traditional methods used to evaluate veranillos, based only on climatic factors, gave different results, either under- or overestimating those of more advanced methods, which include soil and crop characteristics and daily precipitation values in form of water balance. It is suggested that, for regional characterization of veranillos, a minimum of 15 mm of available soil water should be used. Avoidance and confrontation strategies, particularly the former, showed good potential for use in cropping schemes designed to reduce the effects of veranillos. In using these strategies, it was of great value to plant during the early rains, as opposed to the traditional planting in mid-June.

INTRODUCCION

En el trópico, en donde la temperatura media mensual es generalmente alta, y prácticamente constante, además de mejorar los rendimientos por cultivo, es fundamental aumentar la producción aumentando el número de cultivos sembrados por año (23, 24). El factor climático más limitante para sembrar durante todo el año, dada la variabilidad y la distribución de la precipitación, es el agua, tanto en carestías como en excesos.

La estación de lluvias en el régimen del Pacífico Centroamericano, se caracteriza por presentar un comportamiento bimodal debido a un período de re-

COMPENDIO

A la escasez de agua durante la estación de lluvias, en la costa Occidental de América Central, o sea, a los veranillos, se atribuyen grandes pérdidas en los rendimientos. En este trabajo, los veranillos fueron evaluados para dos estaciones en Costa Rica, empleando tres metodologías procediendo luego a un análisis simulativo de la severidad de los mismos empleando el modelo de balance hídrico diario AQUA. Las estrategias diseñadas para minimizar los efectos de los veranillos, básicamente, de escape o de enfrentamiento a los períodos de mayor déficit hídrico, requirieron diseñar una metodología para determinar sin ambigüedad la fecha de siembra más temprana y segura de cada año. Esta metodología basada en análisis de precipitación probabilístico y actual, y el método de balance hídrico diario y otras consideraciones, tiene el fin de contribuir a maximizar con seguridad la eficiencia en el uso de agua de la estación de lluvias. Los métodos tradicionales para evaluar veranillos, basados sólo en factores climáticos, dieron diferentes resultados, subestimando o sobreestimando aquéllos de la metodología más avanzada, la cual incluye características del suelo y de los cultivos, y precipitación diaria en forma de balance hídrico. Se sugiere que para caracterización regional de veranillos, se utilice un mínimo de 15 mm de agua en el suelo disponible a los cultivos. Las estrategias de escape y de enfrentamiento, sobre todo la primera, indicaron gran potencial para ser empleadas en esquemas de cultivos que buscan disminuir los efectos de los veranillos. De gran valor en estas estrategias fue el sembrar al principio de la estación de lluvias, en contraposición a la tradicional siembra de mediados de junio.

ducción de la precipitación denominado veranillo o "canícula". Los veranillos varían en intensidad y severidad espacial; generalmente, ocurren en el lapso de junio a agosto (20, 21, 22).

A tales períodos de disminución o falta de precipitación se les atribuye severas pérdidas en las cosechas (11, 12, 17, 22). Dado el escaso desarrollo del riego y lo oneroso de su implementación a gran escala, el primer paso para desarrollar una estrategia de disminución de los efectos de los veranillos consiste en la apropiada caracterización de los mismos. Los métodos usualmente empleados hacen caso omiso de la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos y de las características de los cultivos, las cuales varían mucho. Estos métodos consideran solamente aspectos climáticos, tales como períodos en los cuales la precipitación es cero (13), o en los que la precipitación es menor a la evapotranspiración potencial (15, 20).

1 Recibido para publicación el 23 de diciembre de 1987. Proyecto financiado por Vicerrectoría de Investigación, Universidad de Costa Rica y por una Beca McNamara del Banco Mundial al segundo autor.

* Profesores, Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Las estrategias para disminuir los efectos dañinos de los veranillos en cultivos anuales, como son: siembras escalonadas, uso de más de una variedad y algunos policultivos, pueden ser enfocadas desde dos puntos de vista: a) escape o evitamiento, lo que se logra exponiendo al cultivo por el mínimo periodo de tiempo a esa carencia de precipitación; b) enfrentamiento con cultivos resistentes y/o con cultivos en un estado avanzado de desarrollo, lo cual permite extracción de agua del suelo a profundidades considerables. Esta última estrategia, por supuesto, no se aplica a situaciones de suelos poco profundos o de escasa capacidad de almacenamiento de agua (22). La práctica de almacenar agua de lluvia sobre el suelo en sistemas de arroz anegado para ser consumida durante periodos sin lluvia (7), puede ser considerada como una modalidad de escape.

Ambos tipos de estrategias, así como los esfuerzos para maximizar el largo de la estación de lluvias, se benefician de una siembra temprana que permita el completo o avanzado desarrollo del cultivo antes de que los efectos más severos de los veranillos sean sentidos. Las metodologías en uso para determinar la fecha más temprana del inicio de las lluvias en que se puede sembrar, están poco desarrolladas en la actualidad. Usualmente, estos métodos se fundamentan sólo en una cierta cantidad de precipitación mínima que debe caer antes de sembrar (6, 11), o en simple análisis probabilístico (19). La primera técnica carece de la certeza de que esa mínima cantidad de precipitación será seguida del inicio formal de las lluvias, mientras que la segunda sacrifica aquellos años con inicio temprano de lluvias, por razones de seguridad.

El presente trabajo es parte de un esfuerzo para lograr una optimización hídrica de la agricultura de secano y enfatiza tres aspectos: a) Desarrollo de una metodología de evaluación de veranillos basada en un método de balance hídrico diario (17); b) comparación de esta metodología con otras corrientemente en uso; c) desarrollo de una metodología para determinar la fecha de siembra más temprana al inicio de las lluvias, considerando tantos aspectos de precipitación actual como probabilísticos, así como aspectos de balance hídrico; d) análisis simulativo de los efectos de los veranillos en diversos tipos de cultivos, empleando metodología de balance hídrico y la fecha de siembra más temprana mencionada en el punto c.

METODOLOGIA

Se utilizaron datos obtenidos en dos estaciones meteorológicas del régimen de precipitación del Pacífico de Costa Rica. La estación de Alajuela (Central) representa la Región Central del país y la estación de Cañas (Ingenio) representa la Región del Pacífico Norte; ambas estaciones representan, en gran medida, varios millones de hectáreas de la costa Occidental de América Central (10). Algunas caracterís-

ticas de las dos estaciones se presentan en el Cuadro 1 y las distribuciones de la precipitación (P) mensual media y efectiva (75% probabilidad) se presentan en la Fig. 1.

Evaluación de los veranillos

Se realizó una comparación entre métodos para evaluar veranillos, utilizando diez años de P diaria de Alajuela y Cañas. Las carestías de agua del periodo junio a agosto, fueron evaluadas a través de tres metodologías:

- Un método que considera como carestía de agua un periodo de cinco o más días sin lluvia ($P = 0$) (13).
- Un método que divide los meses en pñtadas, con aquellas pñtadas en las cuales $P < ETP$ (evapotranspiración potencial) representando carestía de agua (15, 20); y.
- Un método de balance hídrico diario, derivado del modelo AQUA (17), el cual considera carestías de agua en la forma de días con déficit hídrico únicamente después de que el reservorio de agua disponible en el suelo ha sido agotado por la evapotranspiración.

El modelo AQUA utiliza los siguientes parámetros fundamentados en los criterios que se exponen a continuación:

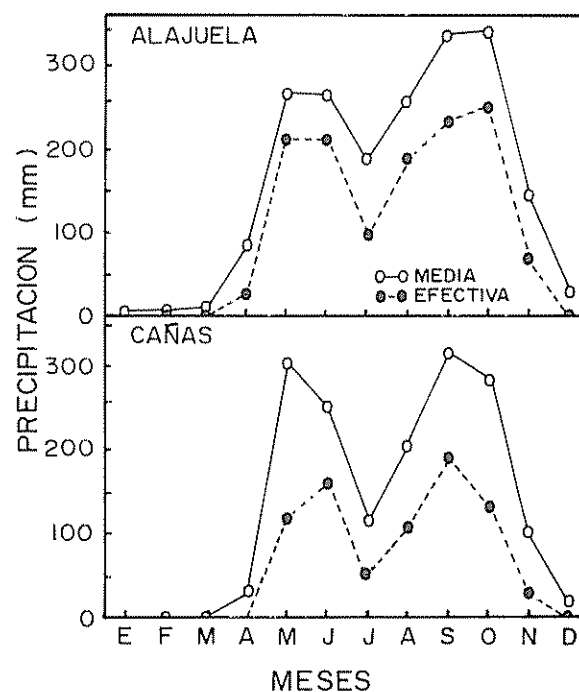


Fig. 1. Variación mensual de la precipitación media y efectiva para las estaciones del estudio (1975-1984). La precipitación efectiva representa el 75% de probabilidad de que ésta sea igualada o superada (por ej, ver Hargreaves, 1975).

Cuadro 1. Características de las estaciones meteorológicas empleadas*.

Estación	Región	Lat.	Long.	Altitud (msnm)	Precipitación Anual (mm)	Temperatura Media Anual (C)
Alajuela (Central)	Central (Pacífico)	10 01	84 16	840	2 370	22.2
Cañas (Ingenio)	Pacífico Norte	10 25	85 29	40	1 860	27.8

* Datos del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (1970-1984) y de Hargreaves (8)

— La cantidad de agua disponible (AD) para los cultivos (tradicionalmente, el contenido volumétrico entre capacidad de campo y marchitez permanente) fue fijada en 100 mm m^{-1} . Este valor es fácilmente encontrable o superable en las zonas del estudio. El valor de AD es modificado por un coeficiente de agotamiento (CA), el cual expresa el porcentaje de AD que el cultivo puede extraer previo a sufrir déficit hídrico (4). Se utilizó en la evaluación de veranillos un $CA = 0.5$ (50%), el cual es conservador y representa un cultivo recientemente establecido. Otro componente importante que determina el agua del suelo es expresado por la profundidad de raíces (PR) del cultivo. Para la evaluación comparativa de veranillos se utilizó un valor fijo de PR de 30 cm. Se considera que esta PR es la mínima que debe usarse para caracterización regional y representa la PR de un cultivo recientemente establecido. Para otros análisis, el valor de PR puede variar. Así, AQUA redefine agua disponible al cultivo, $ADC = AD * CA * PR$. Con base en los valores recién mostrados, se tiene un valor de $ADC = 15 \text{ mm}$, como reserva máxima en el suelo asequible al cultivo para la evaluación de veranillos. El ADC puede visualizarse como el valor máximo de un tanque de almacenamiento de agua del cual el cultivo toma agua para consumirla en evapotranspiración y se "rellena" con precipitación.

— Los valores de ETP usados en este trabajo son promedios de aquellos calculados por el método de Penman modificado para estas regiones por Ramírez (20). Estos valores son de 3 mm d^{-1} para Alajuela y 4 mm d^{-1} para Cañas. En este esfuerzo de caracterización regional de los veranillos, no se consideró necesario el modificar la ETP por un coeficiente de cultivo (kc). Por eso, en este caso, $ETP = ETC$ (evapotranspiración del cultivo). Esta es una medida de seguridad en la caracterización regional que acrecienta el consumo de agua, ya que en estadíos tempranos de desarrollo de un cultivo, $ETC < ETP$ (4).

— La metodología de cálculo seguida por AQUA representa una ecuación de continuidad, utilizando

precipitación diaria como entrada, ETP o ETC diaria obtenida a partir de valores mensuales como salida, y ADC del suelo visto como tanque de almacenamiento. Un día con déficit es aquél en que $ADC \leq 0$, lo cual se alcanza cuando ADC proveniente del día anterior y la precipitación de ese día no satisfacen la evapotranspiración. Más detalles sobre la mecánica de AQUA fueron descritos por Radulovich (17).

Fecha de siembra más temprana

En condiciones óptimas, la siembra al inicio de la estación de lluvias debe contar con suficiente agua para germinación y establecimiento del cultivo y ser seguida de suficiente P para el subsecuente crecimiento del mismo. Para esto, una mínima P debe caer antes de sembrar y debe existir una alta probabilidad de que esa mínima P será seguida del inicio formal de las lluvias, en un período corto. Otras consideraciones de importancia se refieren a la especie a sembrar y a las prácticas culturales. Con estos puntos en mente, se incorporaron, en orden de precedencia, los siguientes criterios en la simulación para determinar la fecha de siembra más temprana que se puede considerar como segura:

- a) Una mínima cantidad de P ($30 \pm 3 \text{ mm}$) debe caer en la década inmediatamente previa a sembrar. Esta cantidad es la recomendada por FAO (6);
- b) Se consideró necesario minimizar los déficits hídricos durante el establecimiento temprano. En los 15 d siguientes a la emergencia, los cultivos susceptibles al déficit sólo pueden sufrir un día con déficit y los más tolerantes, no más de dos días con déficit. También se consideró que si no hay P adicional desde la siembra a la emergencia (5 d), los cultivos susceptibles (de siembra poco profunda) cuentan con 5 mm de agua en el suelo al emerger mientras que cultivos más tolerantes (de siembra más profunda) cuentan con 8 mm como sobrantes de P pre-siembra. Estos criterios fueron analizados por el modelo AQUA, utilizando valores mostrados en el Cuadro 2;

Cuadro 2. Valores del cultivo y suelo, usados en el modelo AQUA para dos tipos de cultivos, susceptible y resistente al déficit hídrico. Agua disponible en el suelo AD = 100 mm m⁻¹ *.

Días Pos. Emerg.	kc	CA (%)		PR(m)		ADC(mm)	
		Suscep.	Resist.	Suscep.	Resist.	Suscep.	Resist.
1-15	0.50	50	60	0.20	0.25	10	15
16-30	0.50	50	60	0.40	0.50	20	30
31-60	0.70	60	65	0.60	0.80	40	55
> 60	1.00	60	65	0.80	1.00	50	65

* Datos adaptados (3, 4, 14)

- c) Durante o inmediatamente después del periodo de 15 d de establecimiento, la estación de lluvias debe comenzar formalmente. El inicio formal de la estación de lluvias en estas regiones, es caracterizado por P frecuente y abundante hasta la primera manifestación de veranillo. La entrada de la estación de lluvias constituye generalmente un periodo sin déficit, en contraposición a días con déficit que ocurren durante el periodo prehúmedo previo a la entrada formal de las lluvias; y,
- d) Por lo menos dos días sin lluvia, o tres días con $P < 5 \text{ mm d}^{-1}$, deben transcurrir para iniciar las operaciones de siembra.

Utilizando estos criterios y los valores mostrados en el Cuadro 2, se corrió AQUA con quince años de valores diarios de P para cada una de las estaciones. Los valores mostrados en el Cuadro 2 han sido utilizados con éxito para explicar rendimientos de arroz, frijol y maíz (17). Se comenzó el análisis con las primeras lluvias del año, buscando establecer las siguientes fechas:

- 1) Fecha más temprana de siembra para cada año. Estos valores, para el conjunto de años, dan un rango que fluctúa entre el valor del año en que se pudo sembrar más temprano de todos y el que se tuvo que sembrar más tarde de todos;
- 2) La fecha más tardía de entrada formal de las lluvias de todos los años considerados.

Evaluación dinámica de los efectos de los veranillos

Se seleccionaron años con veranillos severos (1977 y 1983 para Alajuela; 1979, 1981 y 1982 para Cañas) y se comparó el grado de déficit que enfrentaría un cultivo sembrado en la fecha de siembra más temprana con el déficit encontrado por un cultivo sembrado a mediados de junio, como es lo tradicional. Este último caso, el cultivo reciente, contó constan-

temente con las características descritas arriba para la metodología de evaluación de veranillos (esto es, ADC = 15 mm y ETC = ETP). Para el cultivo sembrado en la fecha de siembra más temprana se utilizaron los valores mostrados en el Cuadro 2 y se corrió el modelo para dos cultivos hipotéticos con ciclos de vida de 80 y 100 d. Se empleó además la modalidad de cultivo resistente o susceptible para cada uno de los ciclos de vida (Cuadro 2).

RESULTADOS Y DISCUSION

Evaluación de veranillos

La severidad de los veranillos, representados en la Fig. 1 como una disminución en la P mensual de junio a agosto, fue evaluada por dos métodos convencionales contra un método de balance hídrico diario; los resultados se muestran en la Fig. 2. Según la posición de los puntos en relación a la línea (Fig. 2a), se puede ver que el método de pentadas, en las que $P < ETP$ sobreestima el número de días con déficit en todos los valores menos uno, cuando se compara al déficit calculado diariamente por AQUA para un cultivo recientemente establecido. Esta sobreestimación va de 1.25 a 4 veces el número de días con déficit calculados por AQUA asumiendo que el cultivo cuenta con 15 mm de ADC y se da precisamente porque la metodología de considerar sólo $P < ETP$ ignora esa capacidad de almacenamiento de agua del suelo.

En la Fig. 2b se puede ver, por la posición de los puntos respecto a la línea, que el método de contar número de días sin lluvia cuando se presentan consecutivamente en grupos de cinco o más, subestima en el rango de valores bajos. El método de contar días sin lluvia subestima la severidad de los veranillos, en el rango de valores bajos, porque no toma en cuenta aquellos periodos en que la $P > 0$ pero $< ETP$, en los cuales puede presentarse déficit.

Según se puede apreciar en la Fig. 1 y se corrobora en la Fig. 2, los veranillos son bastante más severos en

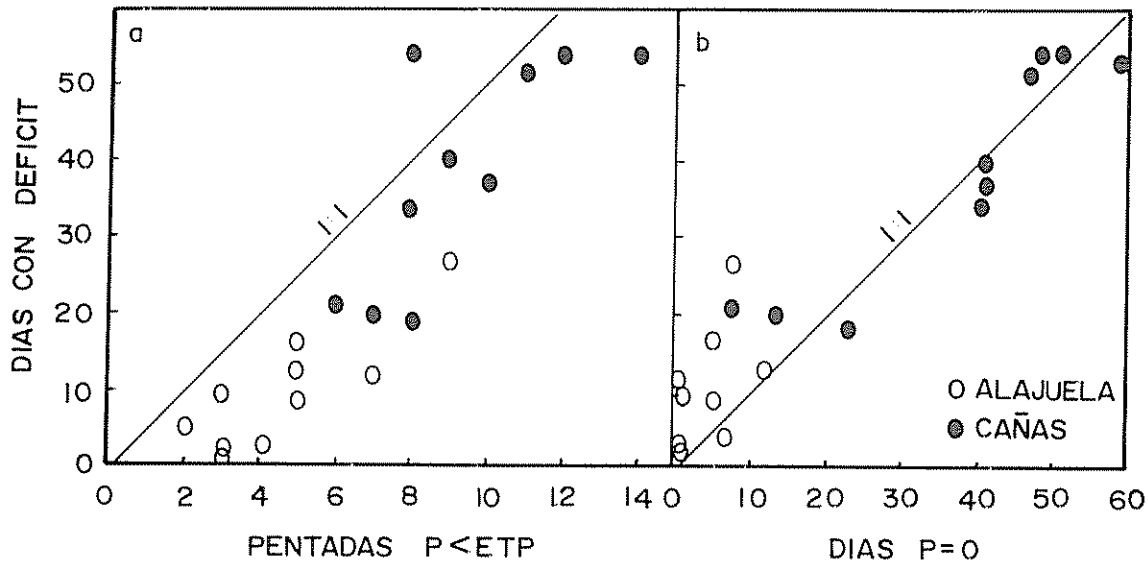


Fig. 2. Evaluación de veranillos mediante diferentes métodos en las zonas de Alajuela y Cañas

Cañas (y en general en la zona del Pacífico Norte de Costa Rica) que en Alajuela. El número de días con déficit calculados diariamente para un cultivo recién establecido, va de 20 a más de 50 para Cañas, mientras que sólo un valor fue sobre 20 d para Alajuela, con el 60% de los valores menores que 10 d

Fecha de siembra más temprana

En el Cuadro 3 se muestran los resultados de la simulación para determinar la fecha de siembra más temprana. De acuerdo con los criterios señalados anteriormente, las fechas más tempranas en que hubiera sido posible sembrar fueron el 25 de abril para Alajuela y 6 de mayo para Cañas. Las fechas más tardías fueron: mayo 12 para Alajuela y mayo 23 para Cañas (Cuadro 3). Calculado como número de días a partir del 1º de abril, el promedio de la fecha de siembra más temprana para Alajuela fue abril 30 (con 9 de 15 años entre abril 25-30) y mayo 15 para Cañas (con 9 de 15 años entre mayo 6-15). Estos valores promedios son 10 d más temprano para Alajuela y

similares para Cañas que aquéllos determinados por Ramírez (19) mediante un análisis de probabilidad de precipitación. Ambos métodos proporcionan un rango de fechas de siembra; sin embargo, el método de balance hídrico aquí propuesto es prácticamente determinístico referente a los límites de tal rango si se evalúa un suficiente número de años. Este método requiere de determinación de la fecha cada año, al aproximarse el rango, permitiendo así sembrar apenas sea seguro hacerlo, lo cual puede ser antes, durante o después que el promedio.

Utilizar sólo 40-50 mm de P acumulada, a partir del 1º de abril como indicador de fecha de siembra (11), rindió fechas de siembra más tempranas para las dos estaciones. Sin embargo, según se determinó por AQUA, en aproximadamente 25% de los casos el cultivo hubiese sufrido sobre 5 d (usualmente consecutivos) con déficit, a desarrollarse durante los primeros 15 d post emergencia. Esto puede considerarse como causa de pobre establecimiento lo cual enfatiza la necesidad de ser más precisos y seguros en

Cuadro 3. Fechas claves en la determinación de la fecha de siembra más temprana.

Estación	Fecha de siembra más temprana	Fecha de siembra más tardía	Fecha más tardía de entrada formal de las lluvias	Fecha promedio de siembra más temprana	
				Días desde 1º abril (CV %)	Fecha
Alajuela	Abril 25	Mayo 12	Mayo 05	30.1 (13.3)	Abril 30
Cañas	Mayo 06	Mayo 23	Mayo 31	45.2 (10.9)	Mayo 15

determinar fecha de siembra, aún a costo de sacrificar algunas lluvias demasiado tempranas. La fecha más tardía de entrada formal de las lluvias para el periodo de 15 años fue mayo 5 en Alajuela y mayo 31 en Cañas (Cuadro 3)

De acuerdo con este análisis, en cualquier año en que 20-30 mm de P cayeron inmediatamente antes o después de abril 25 en Alajuela y mayo 6 en Cañas, no se produjo déficit, al menos por los 15 d post emergencia en Alajuela y sólo un día con déficit para el cultivo susceptible en 20% de los años evaluados para Cañas, lo cual es permisible según el modelo. Ninguna fecha antes de abril 25 en Alajuela y mayo 6 en Cañas, cumplió con todos los criterios para asegurar el establecimiento adecuado del cultivo. En la medida que la fecha más tardía de entrada formal de las lluvias se aproxima, los requerimientos mínimos para sembrar pueden ser flexibilizados, considerando la inminente entrada de lluvias.

Estos resultados, incluyendo la seguridad de que la entrada formal de las lluvias ocurre a más tardar a principios de mayo en Alajuela y a fines de mayo en Cañas (Cuadro 3), y el hecho de que todas las fechas determinadas caen dentro de un periodo corto que es de 17 d entre la fecha más temprana y la más tardía, contribuyen a la efectividad esperada al usar este método u otros similares por desarrollar.

Plantar en la fecha más temprana, según el método propuesto en este trabajo, lo que se determina cada año dentro del rango esperado, garantiza un gran margen de certeza de que se logrará un exitoso establecimiento y crecimiento del cultivo sin déficit hídrico, contribuyendo, al mismo tiempo, a alargar en lo posible la estación de secano (o temporal)

Otro punto importante, con relación a fecha temprana de siembra, se refiere a P excesiva que ocurre algunos años durante el inicio de la época de lluvias. Si la siembra no se realiza lo más temprano posible en esos años, días venideros con alta P no sólo demorarán las operaciones de siembra sino también pueden significativamente inhibir la germinación y el establecimiento temprano de cultivos recién sembrados. En zonas de veranillo severo, puede ser importante evitar la coincidencia de ciertos estadios de desarrollo susceptibles (como floración) con los periodos de mayor déficit hídrico.

Evaluación dinámica de los efectos de los veranillos

Esta evaluación se efectuó simulando el crecimiento de un cultivo mediante AQUA a partir de la fecha más temprana de siembra del año seleccionado, utilizando los valores del Cuadro 2. Según se muestra en las Figs 3 y 4, la severidad de los veranillos sobre cul-

tivos establecidos son radicalmente menores en número de días con déficit que sobre un cultivo recientemente establecido (con sólo 15 mm de ADC). Asimismo, los valores fueron mucho menores que los de péntadas con $P < ETP$, empleados como comparación.

También se observa en las Figs. 3 y 4 que el cultivo de ciclo corto (80 d) prácticamente no sufrió déficit considerable. Esto, a pesar de que los años evaluados son aquéllos con veranillos severos. Resultaría factible en estas regiones y en otras similares sembrar un cultivo de ciclo corto, como frijol o soya, y escapar los efectos de los veranillos cosechando antes de sentirlos. Para lograr esto, resulta fundamental sembrar en la fecha más temprana en que sea seguro hacerlo, según se discutiera en párrafo anterior.

La estrategia de enfrentamiento de los veranillos, ejemplarizado por los cultivos de ciclo de 100 d (Figs. 3 y 4), rindió, para los 15 años evaluados, ciertos grados considerables de déficit para 1977 en Alajuela y 1982 en Cañas. Sin embargo, los días con déficit, no superaron el 20% de los días de vida del cultivo y se presentaron principalmente al fin del ciclo, lo cual minimiza sus efectos (4). Esta estrategia de enfrentamiento de veranillos se fundamenta, además de la siembra temprana, en la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos, la cual debe ser substan-

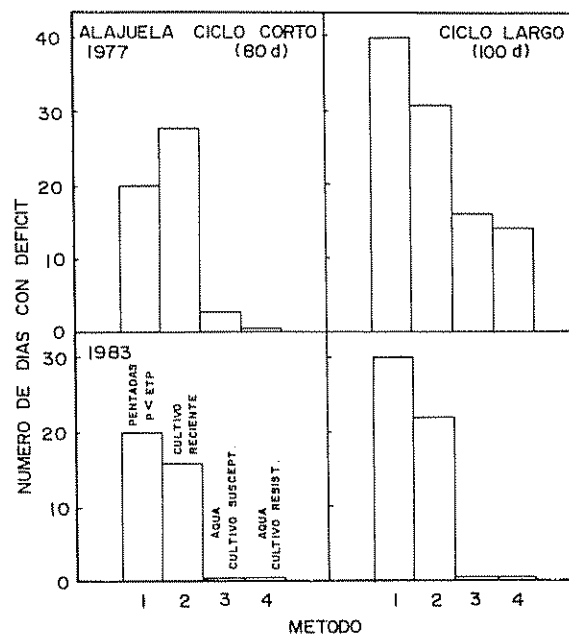


Fig. 3. Evaluación de severidad de veranillos para años selectos de Alajuela. Los métodos mostrados en esta Figura y la Figura 4 son: 1) No. de días de péntadas en los cuales $P < ETP$; 2) No. de días con déficit con ADC máximo de 15 mm; 3 y 4) No. de días con déficit corriendo AQUA desde la fecha de siembra más temprana.

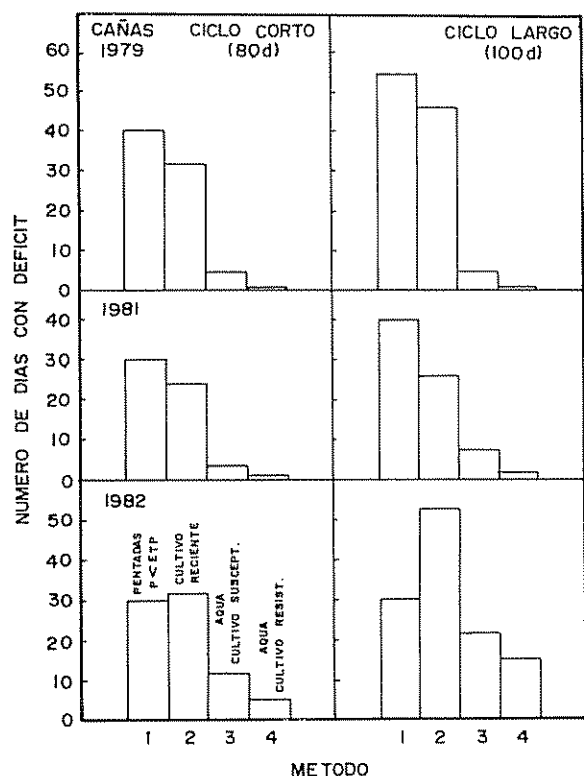


Fig. 4. Evaluación de severidad de veranillos para años selectos de Cañas

cial ($AD \geq 80 \text{ mm m}^{-1}$). Además, dependiendo de la zona y de las condiciones, se deberá escoger cuál estrategia, si escape o enfrentamiento, es la más adecuada.

Resulta evidente, por la serie de análisis presentados, que es probable reducir los efectos dañinos de los veranillos sobre los rendimientos de los cultivos. Sin embargo, la práctica tradicional en Costa Rica es sembrar a mediados de junio, lo cual enfrenta un cultivo incipiente, de poca profundidad radicular, a la severidad del veranillo. Esto puede fundamentarse en evitar que la floración coincida con los veranillos. Por otra parte, es interesante considerar la opción de producir dos cultivos de secano por año, sembrando el primero en la fecha más temprana de siembra y el segundo, después del veranillo. Sobre este punto,

LITERATURA CITADA

1. COX, W.J.; JOLLIFF, G.D. 1987. Crop-water relations of sunflower and soybeans under irrigated and dry-land conditions. *Crop Science* 27:553-557
2. CROP-WATER RELATIONS. 1983. Ed. by I.D. Teare, M.M. Peet. New York, John Wiley. 547 p.
3. DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. 1979. Yield response to water. Rome, FAO. Irrigation and Drainage Paper no. 33. 193 p.

existe un gran potencial que desarrollar a través de la investigación, en la búsqueda de esquemas de cultivos que satisfagan las necesidades agrológicas imperantes.

Por ejemplo, existe amplia evidencia de que los cultivos de algodón, girasol, maíz y sorgo pueden ser producidos con un 65-75% de los rendimientos con sólo el agua almacenada en el suelo al momento de la siembra (1, 5, 9, 16). La validación de campo de estos esquemas de cultivo y otros, se encuentra actualmente en progreso y sus aspectos teóricos son discutidos en otra parte (18).

CONCLUSIONES

Según el análisis simulativo, efectuado principalmente como demostración de uso del método y considerando la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y la adaptabilidad de los cultivos, los veranillos, en las zonas estudiadas, tienden a no ser severos. Es posible concluir que:

- Las grandes pérdidas que se atribuyen a los veranillos sean principalmente debidas a que la siembra se hace con poca antelación; por ello, los cultivos tradicionalmente enfrentan la escasez de agua en estadios poco desarrollados y susceptibles al déficit hídrico.
- La metodología de fecha de siembra, una vez delimitados los criterios que se seleccionen, ofrece una alternativa aplicable a la solución de un problema, hasta ahora tratado a la ligera.
- Las estrategias evaluadas para disminuir los efectos de los veranillos, escape y enfrentamiento, mostraron gran potencial de aplicación y ahora procede a hacer su evaluación a nivel de campo.
- El trabajo presentado se apega a niveles intermedios de modelación agrometeorológica, de fácil y necesaria implementación en áreas en donde la producción depende de la precipitación (cultivo de temporal).

4. DOORENBOS, J.; PRUIT, W.O. 1984. Crop water requirements. Rome, FAO. Irrigation and Drainage Paper no. 24. 144 p.
5. FACI, J.M.; FERERES, E. 1980. Responses of grain sorghum to variable water supply under two irrigation frequencies. *Irrigation Science* 1:149-159.
6. FRERE, M.; POPOV, G.F. 1979. Agrometeorological Crop Monitoring and Forecasting. Rome, FAO. Plant Production and Protection Paper no. 17. 64 p.

7. FRERE, M.; POPOV, G.F. 1986. Pronóstico agrometeorológico del rendimiento de los cultivos. Roma. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal no 73 194 p.
8. HARGREAVES, G.H. 1975. Climate and moisture availability for Costa Rica. Logan, Utah State University Working Paper 75-E161. 23 p.
9. HSIAO, T.C.; FERERES, E.; ACEVEDO, E.; HENDERSON, D.W. 1976. Water stress and dynamics of growth and yield of crop plants. In Water and Plant Life. Ed. by O.L. Lange *et al* New York Springer Verlag p. 281-305.
10. INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFIA E HISTORIA. 1976. Atlas Climatológico e Hidrológico del Istmo Centroamericano Guatemala Publicación no. 367. 180 p.
11. LOMAS, J.; HERRERA, H. 1984. Weather and maize yield relationships in the tropical region of Guanacaste, Costa Rica. *Agricultural and Forest Meteorology* 31:33-45.
12. LOMAS, J.; HERRERA, H. 1985. Weather and yield relationships in tropical Costa Rica. *Agricultural and Forest Meteorology* 35:133-151.
13. LUGO-LOPEZ, M.A.; ANTONI, M. 1981. A practical and simple graphic model to appraise the occurrence of dry spells in the humid tropics. *Journal of Agriculture of University of Puerto Rico* 65:264-268.
14. MILLAR, A.A. 1985. Relaciones hídricas del sistema suelo-planta-atmósfera: enfoque agronómico. IICA, Santo Domingo, R.D. (mimeógrafo)
15. PAES DE CAMARGO, M.B.; BROMINI, O.; ANGELOCCI, L.R.; ORTOLONI, A.A. 1984. Melhores épocas de plantio para arroz de sequeiro, CV IAC-1246, em função de índices biometeorológicos. *Pesquisas Agropecuárias Brasileiras* 19:1227-1233.
16. RADULOVICH, R. 1984. Reproductive behavior and water relations of cotton. Ph.D. Dissertation. Davis University of California. 138 p.
17. RADULOVICH, R. 1987. AQUA, a model to evaluate water deficits and excesses in tropical cropping: I. Basic assumptions and yield. *Agricultural and Forest Meteorology* 40:305-321.
18. RADULOVICH, R.; CARMONA, G. 1988. AQUA, a model to evaluate water deficits and excesses in tropical cropping: II. Optimization of rainfed cropping. (Manuscript).
19. RAMIREZ, P. 1982. La estación lluviosa en Costa Rica y los veranillos. In *Agroambiente* (1982, Turrialba, C.R.) Turrialba, C.R., CATIE (mimeógrafo).
20. RAMIREZ, P. 1983. Estudio meteorológico de los veranillos de Costa Rica. San José, C.R., Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. Nota de Investigación no. 5. 2/ p.
21. ROJAS, O. 1985. Estudio agroclimático de Costa Rica. San José, C.R., IICA, C.R. Publicación Miscelánea no. 617. 177 p.
22. SAMANI, Z.; HARGREAVES, G. 1987. Effect of planting date on rainfed agriculture in El Salvador. Utah State University. International Irrigation Center. (manuscript).
23. SANCHEZ, P.A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. New York. John Wiley. 618 p.
24. SORIA, J. 1976. Los sistemas de agricultura en el Istmo Centroamericano. *Revista de Biología Tropical* 24(1):57-68.