

Nota Técnica

**AGUA Y CULTIVOS SECUENCIALES EN ZONAS SEMI-SECAS:
EVALUACION DE CAMPO PRELIMINAR^{1/}***

Ricardo Radulovich **
Gisella Vargas **
José Rodolfo Chaves **
Fernando Sánchez **

ABSTRACT

Water and sequential cropping in semi-dry regions: preliminary field evaluation. Bean and maize crops were planted sequentially during the rainy season of 1988, also evaluating the feasibility of producing crops on stored soil water only by planting at the end of the season, in Alajuela, Costa Rica, at an altitude of 840 masl. Annual precipitation averages 2370 mm, with a rainy season beginning early May and ending late November; mean monthly temperature is 22.2°C. Most plantings were done on a Typic Dystropept, while a bean planting at the end of the season was also done on a Thapto Vertic Dystrandept. Field results confirm in a preliminary manner the results of previous modeling efforts, and indicate the feasibility of producing two sequential crops per year, thus making a better use of natural precipitation and soil water storage capacity. Plantings at the end of the rainy season indicate the feasibility of producing a bean crop on stored soil water plus the reduced precipitation fallen during November and December. The large capacity of beans and maize to extract soil water was most relevant, extracting between 130 and 250 mm of water, which represents 185 to 250 mm/m of available soil water. These values are fairly higher than those normally used in water balance models.

INTRODUCCION

Dada la poca variabilidad de la temperatura media mensual a través del año para una región dada, el agua es el factor ambiental que más limita la producción agrícola tropical. Déficits y excesos hídricos durante la época de lluvias explican de un 60 a un 90% de la variabilidad de los rendimientos de granos básicos en la provincia de Guanacaste, Costa Rica (Radulovich, 1987a).

Se ha postulado que la optimización agrícola en zonas tropicales debe hacerse en función de rendimientos por año, aumentando el número de cultivos producidos en ese período (Sánchez, 1976; Soria, 1976), y no en función de rendimientos por cultivo. Evidentemente, toda estrategia de optimizar en función del número de cultivos por año debe ser basada en consideraciones hídricas. Un enfoque de esta índole para la región del Pacífico de Costa Rica ha sido presentado por Radulovich (1987a; 1989) y por Carmona y Radulovich (1988).

El presente trabajo, resume una evaluación preliminar a nivel de campo de varias hipótesis y esfuerzos de modelación desarrollados alrededor de la optimización hídrica de la agricultura de secano en Costa Rica, que se define como producción con agua de lluvia (Radulovich, 1987a; 1987b; 1989; Carmona y Radulovich, 1988).

1/ Recibido para publicación el 25 de mayo de 1989.
* Contribución del proyecto Optimización Hídrica de la Agricultura Tropical de Secano, financiado por el Programa de Cooperación en Ciencia y Tecnología, AID, Washington D.C., Estados Unidos, y la Universidad de Costa Rica.
** Escuela de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

MATERIALES Y METODOS

Se realizaron en 1988 siembras secuenciales de frijol (*Phaseolus vulgaris* var. 'Talamanca') y maíz (*Zea mays* var. 'Tico V7') en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, de la Universidad de Costa Rica, en Alajuela (altitud 840 msnm; precipitación promedio anual de 2370 mm, con estación de lluvias entre mayo y noviembre; temperatura media mensual de 22,2°C).

Tres siembras de frijol y cuatro de maíz se efectuaron en la parte alta de la Estación, en un suelo clasificado como Typic Dystropept; y una cuarta siembra de frijol se efectuó en un suelo de la parte baja de la Estación, clasificado como Thapto Vertic Dystrandep (Mata, R. 1989. Comunicación personal. Suelos, Facultad de Agronomía, UCR). Para la producción de los cultivos se siguieron las prácticas culturales recomendadas para la zona (MAG, 1983), emulando en gran medida una situación de producción real.

Todas las siembras siguieron un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones, excepto la segunda siembra de frijol con dos repeticiones. Los tamaños de las parcelas en cada repetición fluctuaron entre 40 y 100 m². Los rendimientos reportados fueron obtenidos cosechando 10 m² seleccionados al azar dentro de cada parcela útil, y expresados en 12% de humedad.

Las fechas de siembra y cosecha se muestran en el Cuadro 1. La primera fecha de siembra de cada uno de los cultivos se determinó por medio del modelo desarrollado por Radulovich (1986) y

por Carmona y Radulovich (1988), que utiliza componentes probabilísticos y de tiempo real de precipitación, para determinar la fecha de siembra más temprana posible que implique el menor riesgo en el establecimiento de los cultivos.

La siembra II de frijol se realizó un tiempo prudencial después de la cosecha de la siembra I de maíz. La siembra II de maíz se efectuó tras la cosecha de la siembra I de frijol, y la siembra III de maíz se efectuó también tras la cosecha de la siembra I de maíz (Cuadro 1). Las dos primeras siembras de frijol y las tres primeras de maíz se efectuaron con miras a evaluar una secuencialidad de dos cultivos por año en la zona del estudio, que se resume como frijol-maíz, maíz-frijol y maíz-maíz.

Las siembras III y IV de frijol y IV de maíz, se efectuaron al final de la época de lluvias (Cuadro 1), con miras a evaluar: a) la factibilidad de producir un cultivo de frijol fundamentalmente con sólo el agua almacenada en el suelo, tras su emergencia durante el fin de las lluvias; y, b), la capacidad del frijol y del maíz de extraer agua de los suelos en estudio, tras períodos prolongados de escasez de agua.

La humedad de los suelos se determinó por muestreo gravimétrico de cada repetición, con secado a 110°C por 48 h, convirtiéndola luego a humedad volumétrica por medio de la densidad aparente. La humedad a capacidad de campo se determinó *in situ*, 48 h después de un evento pluvial al final de la estación de lluvias, lo que representa el máximo de agua almacenable en el suelo (algunas pérdidas por evapotranspiración que

Cuadro 1. Fechas de siembra y cosecha, y rendimientos de los cultivos producidos en 1988, en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela.

Número de siembra	Fecha de siembra	Fecha de cosecha	Rendimiento (kg/ha)		Desviación estándar
			Frijol	Maíz	
Frijol I	5 mayo	28 julio	1.533,2		(286,8)
Maíz II	4 agosto	12 diciembre		2.076,0	(171,5)
Maíz I	5 mayo	6 setiembre		5.202,4	(827,0)
Frijol II	22 setiembre	13 diciembre	1.035,9		(136,5)
Maíz III	8 setiembre	12 enero		3.346,8	(348,1)
Frijol III	27 octubre	17 enero	215,5		(64,9)
Maíz IV	27 octubre	30 enero		--	
Frijol IV	11 noviembre	30 enero	1.404,5		(129,8)

Todas las siembras se efectuaron en un suelo Typic Dystropept, salvo la de frijol IV que se realizó en un Thapto Vertic Dystrandep.

podieron ocurrir durante las 48 h después de la lluvia, se despreciaron). El muestreo de humedad del suelo alrededor de la cosecha representa el agotamiento máximo del agua del suelo por el cultivo, tras un período prolongado de sequía.

La siembra IV de frijol, que se efectuó en el suelo de la parte baja de la Estación, también se fundamentó en el modelo de predicción de lluvias de fin de año desarrollado para la región del Pacífico de Costa Rica por Radulovich (1987b).

RESULTADOS Y DISCUSION

Cultivos secuenciales

Según el modelo de Carmona y Radulovich (1988), la fecha más temprana de siembra posible fue el 4 de mayo. La siembra I de frijol y maíz se efectuó el 5 de mayo (Cuadro 1), una fecha bastante temprana en relación a la práctica usual en la zona. La germinación y establecimiento temprano de los cultivos fue óptima, lo que otorga un cierto grado de credibilidad preliminar al modelo, cuyo uso permite extender la duración cultivable de la estación de lluvias desde su inicio, sembrando cuanto antes sea seguro.

Las siembras II de frijol y II y III de maíz se realizaron en forma secuencial (sin traslape) posterior a las cosechas de la siembra I, y las cosechas se extendieron hasta diciembre en la siembra II de frijol y maíz, y enero en la siembra III de maíz.

A estas alturas, se visualiza que el año agrícola fundamentado en la estación de lluvias, utilizando cultivos secuenciales en una forma tradicional, se extiende desde fines de abril con las prácticas culturales de pre-siembra hasta mediados-finales de enero con la cosecha y manejo de biomasa no cosechable. Es decir, fácilmente se puede comprobar que el año agrícola en esta región podría comprender nueve meses. Los resultados de los cultivos sembrados al final de las lluvias, presentados posteriormente, permiten suponer que el año agrícola es aún más largo sin necesidad de riego.

Los rendimientos de las siembras secuenciales se muestran en el Cuadro 1. Los rendimientos de las siembras I y II de frijol, y I, II y III de maíz son mayores que los promedios nacionales, destacando, por altos, los rendimientos de las siembras I de frijol y maíz. Las reducciones en rendimientos de la siembra II de frijol y II y III de maíz son atribuibles en gran medida a los efectos directos e indirectos de la incidencia de los huracanes

Gilbert y Juana, en setiembre y octubre, respectivamente. Según datos de la Estación, durante setiembre hubo 26 días con lluvia para un total de 449,3 mm, mientras que en octubre llovió 27 días para un total de 568,2 mm de precipitación.

A pesar de que el huracán Juana se presentó a mediados de octubre, y mantuvo su efecto hasta finales del mes, la lluvia en noviembre de 1988 fue de 104,8 mm, bastante inferior al promedio. Una precipitación baja había sido predicha desde junio en función de la precipitación del mes de mayo, la cual, siendo alta (323,7 mm), indicaba grandes probabilidades de baja precipitación en noviembre, según el modelo predictivo de Radulovich (1987b). El déficit hídrico durante el mes de noviembre fue aún más severo de lo que se deduce del valor mensual, pues la mayoría de la precipitación de noviembre se dio hasta el día 6 inclusive, con sólo 25,6 mm para todo el mes después de esa fecha, a lo que se deben sumar 11,7 mm caídos en diciembre. La baja precipitación de noviembre y diciembre es otro factor al que se pueden atribuir los bajos rendimientos de las siembras II de frijol y II y III de maíz.

En la medida que los resultados aquí presentados están siendo reevaluados en forma más rigurosa, puede afirmarse que es factible producir regularmente dos cultivos secuenciales por año en esta región de Costa Rica, que representa un enorme potencial de productividad agrícola que está actualmente desaprovechado.

Cultivos con las últimas lluvias

Las características hídricas de los dos suelos empleados difirieron mucho entre sí. El suelo de la parte alta de la Estación retiene entre 45 y 55% de humedad volumétrica a capacidad de campo y presenta un horizonte impenetrable por las raíces a 70 cm de profundidad, mientras que el de la parte baja retiene de 64 a 70% de agua a capacidad de campo y es fácilmente penetrable hasta 1 m de profundidad por lo menos.

En relación a las siembras durante las últimas lluvias, efectuadas el 27 de octubre y el 11 de noviembre, contrastan grandemente los rendimientos de las siembras III y IV de frijol (Cuadro 1). Según se observa en el Cuadro 2, el consumo de agua del suelo por los cultivos de frijol difiere mucho, siendo de 130,1 mm para la siembra en el suelo de la parte alta (III), y de 252,3 mm para la siembra en el suelo de la parte baja (IV). Esta gran diferencia en cantidad de agua aprovechable

Cuadro 2. Consumo de agua del suelo por cultivos sembrados al fin de la estación de lluvias en dos suelos de la EEFBM, Alajuela.

Suelo	Cultivo	Consumo	Capas de suelo (cm)				Consumo total (mm)	Agua disponible Promedio (mm/m)
			0-10	10-40	40-70	70-100		
Typic Dystropept	Frijol III	% volumétrico*	31,7	22,3	10,5		130,1	185,6
		mm/capa**	31,7	66,9	31,5			
		Agua Disp. mm/m***	317,0	223,0	105,0			
Typic Dystropept	Maíz IV	% volumétrico	31,7	27,0	18,0		166,7	238,1
		mm/capa	31,7	81,0	54,0			
		Agua Disp. mm/m	317,0	270,0	180,0			
Thapto Vertic Dystrandept	Frijol IV	% volumétrico	41,7	29,8	23,7	16,7	252,3	252,3
		mm/capa	41,7	89,4	71,1	50,1		
		Agua Disp. mm/m	417,0	298,0	237,0	167,0		

* % volumétrico=diferencia en humedad volumétrica entre capacidad de campo y cosecha.

** mm/capa= mm de agua consumidos por capa de suelo muestreada.

*** Agua Disponible= cantidad de agua consumida normalizada a mm de agua por m de profundidad de suelo).

por los cultivos explica en gran parte la diferencia en rendimientos. Resulta interesante que, un suelo como el de la parte baja de la Estación, que sufre de mal drenaje durante la época de lluvias, brinda suficiente agua para obtener un cultivo de frijol cuando se siembra al final de las lluvias; esto representa una valiosa estrategia de manejo.

Otro factor que influyó en la diferencia de rendimientos entre frijol III y IV fue el desarrollo de una enfermedad del follaje en el frijol III, la cual no fue posible de superar, debido al esperado pobre desarrollo de área foliar obtenido por escasez de agua. Esto representa una clara indicación del cuidado a tenerse con el follaje al enfrentar cultivos al déficit hídrico, pues la cantidad de hojas será limitada y la capacidad de recuperación foliar se verá fuertemente disminuida.

A pesar de que a la siembra IV de maíz no le fue permitido llegar a madurez, siendo cosechada junto con la siembra III de frijol, puede verse que para el mismo período de crecimiento, el maíz extrajo 36,6 mm más de agua del suelo que el frijol (Cuadro 2).

En general, la experiencia de las siembras con el fin de la estación de lluvias indica la factibilidad de producir cultivos fundamentalmente con el agua almacenada en el suelo más la precipitación de noviembre y la que pueda darse en diciembre. En el año en cuestión, como ya se indicó, la precipitación del 7 al 30 de noviembre fue sumamente baja, lo cual era esperado. En años con precipita-

ción esperada en noviembre de media a alta (Radulovich, 1987b), el éxito de este tipo de siembras tardías será bastante mayor. Por supuesto, como se indicó arriba, la cantidad de agua en el suelo disponible a los cultivos es fundamental y varía mucho entre suelos.

Cabe destacar que los valores de agua disponible medidos como la diferencia en contenido volumétrico de agua entre capacidad de campo y cosecha, son sumamente altos, para ambos suelos, fluctuando entre 185,6 y 252,3 mm/m (Cuadro 2). Estos valores son de gran importancia para efectos de modelación de balance hídrico, e indican una mayor capacidad de extracción de agua de los suelos por los cultivos que lo considerado usualmente.

RESUMEN

Se sembraron en forma secuencial cultivos de frijol y maíz de secano durante la estación de lluvias de 1988, evaluándose también la factibilidad de producir cultivos con el agua almacenada en el suelo al final de las lluvias, en Alajuela, Costa Rica. La mayoría de las siembras se efectuaron en un Typic Dystropept, mientras que una siembra de frijol de fin de lluvias se realizó en un Thapto Vertic Dystrandept.

Los datos de campo confirman de manera preliminar los resultados de esfuerzos de modelación previos, e indican la factibilidad de producir

dos cultivos secuenciales por año, dando así un mejor uso a la precipitación natural y a la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos. Las siembras al fin de la estación de lluvias indicaron la factibilidad de producir un cultivo de frijol prácticamente con el agua almacenada en el suelo más la poca precipitación de noviembre y diciembre. En particular, se destaca una gran capacidad de extracción de agua de los suelos por los cultivos, fluctuando entre 130 y 250 mm de agua extraída, lo que se normaliza a valores de agua disponible de 185 a 250 mm/m. Estos valores son bastante más altos que los normalmente empleados en modelos de balance hídrico.

LITERATURA CITADA

- CARMONA, G.; RADULOVICH, R. 1988. Metodología de evaluación de veranillos y de siembra temprana como estrategia para minimizar sus efectos. *Turrialba* 38:215-222.
- MAG. 1983. Manual de recomendaciones. San José, Costa Rica. 234 p. (Boletín Técnico no. 62)
- RADULOVICH, R. 1986. AQUA, an integrated water model for tropical cropping. Final report. Mc Namara Fellowships Program, Economic Development Institute. Washington D.C., The World Bank. 114 p.
- RADULOVICH, R. 1987a. AQUA, a model to evaluate water deficits and excesses in tropical cropping. I. Basic assumptions and yield. *Agricultural and Forest Meteorology* 40:305-321.
- RADULOVICH, R. 1987b. Predicción de la precipitación de fin de estación lluviosa en el régimen del Pacífico. *Agronomía Costarricense* 11(1):55-64.
- RADULOVICH, R. 1989. Optimization of rainfed tropical cropping in semi dry areas: A case study. *Agricultural Water Management* 16(3): 337-352.
- SANCHEZ, P.A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. New York, Wiley. 618 p.
- SORIA, J. 1976. Los sistemas de agricultura en el Istmo Centroamericano. *Revista de Biología Tropical* 24(Suplemento 1):57-68.