

MANEJO DEL AGUA DE RIEGO Y SU EFECTO EN LA PRODUCTIVIDAD DEL ARROZ EN EL VALLE DE APATZINGÁN, MICHOACÁN*

Luis Mario TAPIA VARGAS¹
Arcadio MUÑOZ VILLALOBOS²

RESUMEN

El cultivo del arroz palay se ha convertido en la opción más atractiva para el productor de básicos en el Valle de Apatzingán, debido a su rentabilidad económica; sin embargo, la superficie de siembra está limitada por el deficiente manejo del agua y la carencia de un programa de riego adecuado a la región. En Parácuaro, Mich., en julio de 1992 se estableció un experimento con arroz cv. Apatzingán A-89, con objeto de reducir la frecuencia y la lámina de riego aplicable al cultivo, sin afectar el rendimiento de granza (arroz palay), y así obtener mayor eficiencia en el uso del agua. Se evaluaron tres tratamientos de riego (I, II y III), con 24, 44 y 20 días de inundación, respectivamente, comparados con el testigo del productor (IV), que requiere alrededor de 80 días de inundación, desde el inicio del amacollamiento hasta la madurez del cultivo. Los resultados indicaron que el tratamiento I permitió alcanzar los más altos rendimientos (7.6 ton/ha de granza), y la mayor eficiencia en el uso del agua (9.8 kg/mm), mientras que el testigo produjo menor rendimiento (5.8 ton/ha de granza), con una eficiencia en el uso del agua de sólo 5.0 kg/mm; el resto de los tratamientos estuvieron en niveles intermedios respecto a estos valores registrados.

SUMMARY

A very important basic crop in the Valley of Apatzingán is paddy rice due its higher profits; however, lack of irrigation schedule and poor water management limits rice production and expansion. At "El Valle", Parácuaro, Mich., México, on July of 1992, an experiment with paddy rice cv. Apatzingán A-

* **Artículo enviado al Comité Editorial del INIFAP. Área Agrícola el 20 de julio de 1996.**

¹ M. C. Investigador del Programa de Uso y Manejo de Agua en el Campo Experimental "Valle de Apatzingán". CIRPAC. INIFAP.

² M. C. Investigador del Área de Productividad de Suelos en el Centro Nacional de Investigación para la Producción Sostenible. INIFAP.

89 was established, the aim of this work was to reduce the depth of water supplied to paddy without injure grain yield. Three irrigation schedules (I, II y III treatments), with 24, 44 y 20 flooding days, against regional control treatment which requires 80 days under flooding conditions, were evaluated. Results indicated that treatment I, with only 24 days under flooding, gets higher yield (7.6 ton/ha paddy), also arises higher water use efficiency index (9.8 kg/mm), in despite of control treatment that yields only 5.8 ton/ha of paddy and lowest water use efficiency index (5.6 kg/mm).

INTRODUCCIÓN

El Valle de Apatzingán es, por extensión, el área de riego más importante del estado de Michoacán con alrededor de 108 mil hectáreas; sin embargo, aun cuando según estimaciones hechas por la Comisión Nacional del Agua (7) en 1993, las fuentes de agua para riego no han disminuído su caudal, se ha dejado de sembrar un 40% de la superficie habilitada, debido a la escasez de agua propiciada por un manejo inadecuado y la ausencia de programas de riego efectivos para los cultivos del Valle.

El cultivo del arroz es un ejemplo de esta situación paradójica, pues a pesar de su adaptación y redituabilidad, cada vez se siembra en menor superficie, por lo que una misma parcela tiene que esperar de 4 a 7 años para ser cultivada con arroz; la lámina de agua suministrada (al menos 4.0 metros), según indicó la Comisión Nacional del Agua (7) en 1993, impide por sí misma el crecimiento de nuevas superficies del cultivo. En el Cuadro 1 se muestra la superficie sembrada en el Valle de Apatzingán y los rendimientos obtenidos.

CUADRO 1. SUPERFICIE SEMBRADA CON ARROZ Y RENDIMIENTOS OBTENIDOS EN EL VALLE DE APATZINGÁN, MICH.

Año	Superficie (ha)	Rendimiento (ton/ha)
1990	2 707	6.0
1991	3 219	5.9
1992	4 439	6.1
1993	2 285	6.0
1994	3 310	5.9

Fuente: SARH, 1994. Evolución del arroz en el contexto nacional e internacional. México, D.F.

Desde un enfoque de agricultura sustentable, entendiendo ésta como el desarrollo de tecnología de producción y programas de prácticas agrícolas sin que disminuya la productividad de los recursos en el tiempo (Oleschko

(21), 1994), el objetivo de este experimento fue reducir la lámina de riego que el productor suministra al cultivo, sin afectar el rendimiento de granza y así contribuir a hacer más eficiente el uso de los recursos agua-suelo,

REVISIÓN DE LITERATURA

Efecto del régimen de agua en el cultivo del arroz.

El arroz es un cultivo propio de regiones cenagosas y cálidas, y la principal característica ambiental que lo distingue de los otros cereales es su alto requerimiento de agua, según aclararon Robertson (27) en 1975 y Hernández (14) en 1988; es decir, no es posible producir arroz con agua capilar en el suelo. Este último autor también señaló que la humedad constante del suelo es un factor muy importante, sobre todo en las épocas de formación de panojas, floración y maduración del grano. Angladette (2) en 1969; Aguilar y Sifuentes (1) en 1968; Robertson (27) en 1975; y Doorenbos y Kassam (10) en 1979, indicaron que las fases críticas de requerimiento de agua en el cultivo del arroz van del fin del amacollamiento al momento de la fecundación. Cualquier exceso de humedad tiene un efecto perjudicial para el cultivo, como lo fundamentó Grist (12) en 1975.

García y Briones (11) informaron en 1986 que al arroz no se le suministra agua con el mismo objetivo que para todos los demás cultivos comerciales, que es cubrir el déficit de almacenamiento de humedad del suelo, sino para proporcionar también un medio de desarrollo al cultivo.

La inundación del campo beneficia al cultivo del arroz en varias formas: elimina la sequía, controla las malezas, regula el microclima y proporciona un medio ambiente químico y microbiológico que favorece el desarrollo de las raíces de las plantas de arroz, ya que aunque no exista aire en el suelo, el arroz ha desarrollado un sistema genético de fijación y transportación de oxígeno de los brotes a las raíces, tal como afirmó Ponnampuruma (26) en 1982.

Cualquier factor que afecte el desarrollo del arroz, también puede en ciertas condiciones limitar el rendimiento de grano. Al respecto, Wu en 1966, citado por Yoshida (32) en 1982, mencionó que el déficit de agua afecta un 33% el rendimiento de grano en comparación al arroz con riego normal. Manejo de agua en el cultivo del arroz.

Ortiz (22) en 1973 refirió que en México el arroz produce un alto rendimiento cuando, entre otras actividades, se lo somete a castigo de agua (entre otros factores), desde que el cultivo alcanza el máximo

amacollamiento. Entonces el cultivo se lleva a riegos periódicos sin inundarlo. Grist (12) manifestó en 1975 que periodos largos de inundación afectan el desarrollo de la planta y reducen el rendimiento. Por su parte, Robertson (27) señaló en 1975 la existencia de bajas tasas de amacollamiento, incremento en la altura, mayor acame y toxicidad del suelo también debido a periodos prolongados de inundación.

Aguilar y Sifuentes (1) en 1968 recomendaron establecer el riego por inundación permanente desde los 50 días de la siembra hasta 20 ó 30 días antes de la cosecha, y sugirieron aplicar castigos de humedad sólo cuando las plantas mostraran síntomas de amarillamiento; Chandler (8) sugirió en 1979 mantener inundado al cultivo desde la plantación hasta la madurez, con una lámina óptima de 5 a 7 cm.

En siembra directa bajo riegos Paredes (25) indicó en 1974 que después del riego de siembra se deben proporcionar riegos ligeros diarios o, si el suelo conserva bien la humedad, cada tercer día; 15 días después de la siembra, regar por inundación hasta los 50-55 días en que el cultivo se lleva a riegos periódicos y no por inundación permanente, con lo que se evita el ataque de enfermedades a la planta.

Requerimientos de riego en el cultivo del arroz.

Debido a su origen y sistema de producción, el cultivo del arroz requiere altos volúmenes de agua, ya sea proveniente de la precipitación o mediante riegos complementarios. Angladette (2) mencionó en 1969 que las necesidades varían de 250 a 400 mm de agua transpirada durante el ciclo, que corresponden a 657 g de agua por g de materia seca producida, lo que significa suministrar 200 mm de agua por mes a variedades de seis meses; las variedades más precoces requieren un mayor volumen de agua. Grist (12) indicó en 1975 la existencia de una correlación positiva entre el agua transpirada y el rendimiento; sin embargo, el agua en exceso no influye en el incremento de la tasa de transpiración.

Hernández (14) comentó en 1988 que en Sinaloa, donde la disponibilidad de agua es limitada, se cuenta con información para disminuir la lámina de agua, de 2.5 m que se aplican al cultivo con entable continuo a sólo 1.32 m, distribuidos en 10 riegos durante el ciclo y dos periodos de inundación de siete días, a los 63 y 77 días del trasplante, sin afectar los rendimientos ni la calidad industrial del grano.

En otras regiones arroceras de México, como el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, el INIA (15) en 1981 mencionó que es posible reducir el volumen de agua aplicado al arroz de riego, en función de los días de entable. La reducción puede ser hasta en un 30% en relación con el volumen utilizado por el productor de la región, que es de 4.5 m en otoño-invierno y de 3.5 m en primavera-verano con 50 días de entable con o sin drenaje. El rendimiento obtenido es de 6.08 ton/ha, mientras que con el testigo es de 5.92 ton/ha con 70 días de entable.

Productividad del agua en el cultivo del arroz.

Tradicionalmente el cultivo del arroz se ha relacionado con la abundancia de agua, por lo que ante la escasez o requerimiento de agua para otros fines, diversos investigadores en México han buscado una mayor eficiencia en la productividad del agua en este cultivo; de esta manera, Hernández (13) consignó en 1982 que, con un adecuado plan de riego en el cultivo, el índice de eficiencia de uso de agua puede llegar a 0.58 kg m^{-3} (relación arroz palay/agua suministrada).

Cuando el recurso hídrico es suficiente, la eficiencia se reduce sustancialmente como lo explicó Ortiz (23) en 1988, quien determinó un índice de 0.50; Torres (31) en 1994 dedujo un índice para el sur de Campeche con riego por bombeo de 0.23; y Arévalo (3) informó en 1990 que en el centro de Veracruz se utiliza una lámina de 7.0 m de agua para obtener un rendimiento de 7.1 ton/ha, por lo que la eficiencia en el uso del agua es de 0.102 kg m^{-3} .

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización.

El experimento se estableció en la localidad de "El Valle", municipio de Parácuaro, Mich. cuyo clima es Aw_1 (w), cálido subhúmedo, con una precipitación media de 650 mm de mayo a octubre, una altitud de 600 msnm. El suelo es un Vertisol pélico de textura arcillosa, con un contenido de 22.1% de arena, densidad aparente de 1.3 gr/cc, capacidad de campo de 60%, punto de marchitez permanente de 32.6%, punto de saturación de 116% y un pH de 8.5.

Tratamientos de estudio.

Los tratamientos de estudio se presentan en el Cuadro 2, en donde los tratamientos I, II y III se obtuvieron de experimentos previos, cuyos resultados fueron referidos por Tapia *et al* (29) en 1992 e INIFAP (16), en 1990. Mediante estos tratamientos se intenta reducir la lámina de agua que se aplica al cultivo y suministrar humedad cuando la planta está en sus fases críticas de requerimiento de agua. Los tratamientos propuestos, de acuerdo con lo expresado por Tijerina (30) en 1993, tratan de incrementar la eficiencia en el uso del agua a nivel parcelario y evitar el derroche que actualmente se hace de este recurso en el Valle de Apatzingán.

CUADRO 2. CALENDARIOS DE RIEGO EVALUADOS EN EL EXPERIMENTO DE MANEJO DEL AGUA EN EL CULTIVO DEL ARROZ EN PARÁCUARO, MICH. 1992.

Ciclo vegetativo (días)	T r a t a m i e n t o			
	I	II	III	IV
0		riego		
3		riego		
5		riego		
15		riego		
20		inundación		
		4 días		
35	riego	riego	riego	inundación permanente
50	riego	inundación	inundación	
		40 días	8 días	
65	riego		riego	
80	inundación		inundación	
	20 días		8 días	
100		riego	riego	
115	riego	riego	riego	

Nota: La inundación a los 20 días fue como complemento a la acción del herbicida.

Manejo del experimento.

Nivelación. Se efectuó el trazo de riego en dirección norte-sur, de acuerdo con la pendiente del terreno (1%) con la distribución de las parcelas. Se colocaron mangueras para el aforo del agua al inicio y al final de la melga.

Labores de cultivo. El barbecho y bordeo se realizaron con tracción mecánica y los "poches" (bordes transversales), en forma manual.

Siembra. Se sembró el 10 de julio de 1992, en forma directa, en húmedo, al voleo, con una densidad de siembra de 120 kg de semilla por hectárea. Se empleó semilla pregerminada de la variedad Apatzingán "A-89", de reciente liberación por el Campo Experimental "Valle de Apatzingán". Esta variedad tiene un ciclo de cultivo de 90 días a floración y 120 días a madurez fisiológica, es resistente al acame, tiene alto potencial de producción, estabilidad del rendimiento, mejor calidad molinera y es tolerante a suelos alcalinos, en comparación con las variedades Milagro filipino y Criollo Colima que se siembran en la región (López y Muñoz (20), 1993).

Fertilización. Se aplicó la dosis 120-40-0; todo el fósforo y la mitad del nitrógeno en la siembra y el resto al amacollamiento.

Combate de maleza. Se mantuvo limpio el cultivo durante los primeros 40 días después de la siembra, mediante la aplicación de 6 l/ha de Pantox.

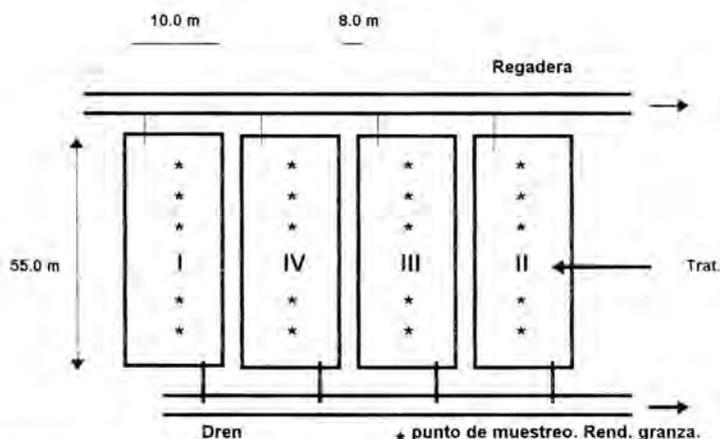


Figura 1. Croquis y distribución de tratamiento en campo, 1992.

Manejo de tratamientos. El experimento se estableció en cuatro melgas de 10 x 55 m cada una (tamaño comercial), con un tratamiento por melga; la distribución de tratamientos fue completamente al azar (Figura 1). Para estimar el rendimiento, a lo largo de cada melga se realizaron cinco

muestreos en 2.0 m² de terreno sembrado. Cada muestra se tomó como una repetición para efectuar el análisis de varianza del rendimiento. Con objeto de evitar "minación" entre los tratamientos, las melgas se establecieron a 8 m de separación. El espacio entre melgas se sembró con sorgo forrajero (sin riego).

Toma de datos.

Las variables a cuantificar fueron las siguientes:

- Precipitación pluvial (Pp), evaporación del tanque "A" (Ev)
- Lámina de riego (Lr). Se midió la carga hidráulica y el tiempo de riego; los riegos se hicieron con manguera calibrada de 5 cm de diámetro. De acuerdo con lo especificado por Rodríguez (28) en 1979, la expresión utilizada para el cálculo de esta variable fue:

$$Lr = c \pi d^2 (2gh)^{1/2} Tr / Am$$

Donde:

- c: coeficiente de calibración del sifón
- d: diámetro del sifón (m)
- g: constante gravitacional (9.82 m s⁻²)
- h: carga hidráulica (m)
- Tr: tiempo de riego (s)
- Am: área de la melga (m²)

- Lámina escurrida (E). Para medir el escurrimiento se colocó una manguera de salida al final de la melga, y se realizaron aforos del agua de salida para conocer el volumen escurrido (m³). Empíricamente es factible demostrar que la expresión que relaciona los volúmenes aplicados (Vr), con los volúmenes escurridos (Vs), en cada evento es:

$$Vr - Vs = Vm$$

De esta expresión se obtiene el volumen de agua que se quedó en la melga (Vm); si Vr corresponde a una lámina de riego aplicada (Lr), y Vm/Am es la lámina de agua (Lm) que se distribuyó en la melga, entonces, por diferencia entre Lr-Lm se obtiene la lámina de escurrimiento (E).

- Percolación profunda. Se asumió para condiciones saturadas a partir de la infiltración básica obtenida de los cilindros infiltrómetros, ya que Beasley *et al.* (4) en 1980 recalcaron que en condiciones saturadas en el tiempo (t), la conductividad hidráulica $K(\theta)$, es igual a la infiltración básica (fc), donde la curva de infiltración se hace asíntota en el tiempo. Para evaluar su modelo propuesto, dichos investigadores asumieron que el drenaje subsuperficial (percolación), es igual a la infiltración básica (fc). La prueba efectuada determinó una infiltración de 1.9 mm/día.
- Rendimiento de granza (palay) ajustado al 14% de humedad.

Análisis de datos.

1. Análisis de varianza del rendimiento ajustado, bajo diseño completamente al azar.
2. Evapotranspiración potencial. Debido a la advección horizontal de calor sensible dentro del arrozal, Angladette (2) en 1969; Robertson (27) en 1975; y Lomas y Levin (18) en 1979, indicaron que en el arroz, la evapotranspiración potencial es igual a la evaporación del tanque "A".
3. Evapotranspiración actual (ETa). Se obtuvo mediante la aplicación del balance hidrológico en forma decenal en términos dinámicos (Robertson (27), 1975):

$$Pe + R = ETa + U + Q + Sw$$

Donde:

Pe = Precipitación efectiva (mm).

R = Riego (mm).

ETa = Evapotranspiración actual (mm).

Q = Escurrimiento (mm).

U = Percolación profunda (mm).

Sw = Cambio de humedad entre períodos (mm).

Según explicó Campos (6) en 1992, el suelo mantenido por encima de capacidad de campo, como ocurrió al mantenerse la inundación de acuerdo a cada tratamiento, produce $Sw=0$; fuera de estos períodos, Sw se calculó cuatro días después de cada riego descontando los valores de ETp.

4. Precipitación efectiva. Se aplicó la metodología sugerida por Palacios y Exebio (24) en 1989.
5. Determinación de la lámina de riego aplicada a cada tratamiento. Se determinó a través de la metodología descrita por Rodríguez (28) en 1979.
6. Eficiencia de uso de agua (kg/mm). De acuerdo con la definición dada por Palacios y Exebio (24) en 1989, es el rendimiento de grano de cada tratamiento (kg/unidad de área), entre el agua consumida (mm).
7. Prueba de medias para la variable rendimiento de grano ajustado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de suelo.

El análisis practicado por el laboratorio de suelos del Distrito de Desarrollo Rural 086 de Apatzingán, Mich., reveló que el terreno donde se estableció el experimento es de alta fertilidad, sin problemas de sales e ideal, por sus propiedades físicas (arcilloso, de lento drenaje y de alta consistencia), para el cultivo del arroz, según lo consignado por Grist (12) en 1975; Doorenbos y Kassam (10) en 1979; Calixto (5) en 1991 y Oleshko (21) en 1994. Estos suelos permiten la inundación sin gran problema y sin colapsarse los agregados, lo cual se observó con el terreno saturado. Además, tienen una capacidad de almacenamiento de humedad de 364 mm/m (alta), lo cual permite calendarios de riego más espaciados que en el resto del Valle.

Variables climáticas y balance hídrico.

En la Figura 2 se presentan los datos de precipitación (Pp), precipitación efectiva (Pe), evapotranspiración potencial (ETp) y fenología del cultivo. Los valores de ETp alcanzaron 689 mm, mismos que deben ser suministrados al cultivo; sin embargo, con lo indicado por Doorenbos y Kassam (10) en 1979; García y Briones (11) en 1986 y Campos (6) en 1992, el arroz es un cultivo con coeficientes de requerimiento de agua por encima de los valores de ETP, por lo que para fines de diseño del calendario de riego se debe tomar en cuenta esta información.

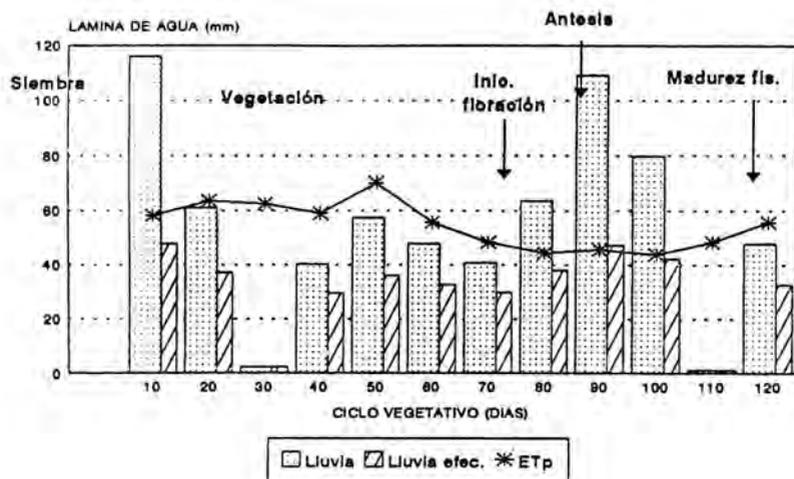


Figura 2. Variables climáticas registradas en el cultivo del arroz en Parácuaro, Michoacán, 1992.

Al analizar las variables se observa que los eventos de precipitación se presentaron con regularidad durante el ciclo, ya que sólo en dos decenas no se tuvo lluvia en forma significativa; el registro alcanzó a totalizar 667 mm, de los cuales 376.3 mm fueron de precipitación efectiva; estos eventos se presentan una vez cada cinco años en la región; sin embargo, de acuerdo con lo manifestado por Grist (12) en 1975 y De Datta (9) en 1982, esta cantidad no alcanzaría para obtener producción bajo temporal, ya que se requiere al menos el doble y una buena distribución durante el ciclo.

En el Cuadro 3 se presenta la información referida la ecuación del balance hidrológico para cada tratamiento cada diez días. Se aprecia en forma clara que las láminas de riego fueron muy altas en todos los tratamientos, y que la mayor parte de el agua aplicada se perdió por escurrimiento con tasas de 48, 56, 65 y 75% para los tratamientos III, I, II y IV, respectivamente, contra escurrimientos de 30% que consignó Angladette (2) en 1969, como máximos permisibles en suelos arcillosos para el cultivo del arroz.

CUADRO 3. VARIABLES DEL BALANCE HÍDRICO POR TRATAMIENTO DE RIEGO EN ARROZ PALAY. PARÁCUARO, MICH. 1992.

CV*												
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
10	15.3	15.3	15.3	15.3	2.3	2.1	1.8	2.1	0.7	0.7	0.7	0.7
20	41.9	41.9	41.9	89.9	13.5	12.4	12.8	59.8	1.8	1.8	1.8	9.5
30	42.1	42.1	42.1	129.9	3.9	5.1	2.2	52.4	1.8	1.8	1.8	10.6
40	49.4	49.4	49.4	201.0	13.7	13.5	15.7	103.4	2.1	2.1	2.1	10.3
50	208.8	322.2	307.9	282.8	116.5	227.8	211.4	197.4	6.7	13.2	13.3	24.7
60	100.1	372.4	100.1	571.8	37.8	212.4	54.5	432.1	6.6	19.8	5.3	19.8
70	151.8	472.2	63.7	699.6	85.4	317.8	28.7	584.6	8.6	14.5	6.1	21.8
80	429.9	520.1	231.9	751.8	297.9	387.4	139.7	623.4	14.0	15.2	5.7	21.1
90	429.9	424.3	73.3	659.8	287.8	364.1	24.5	540.8	19.8	28.5	13.2	28.5
100	73.3	73.3	36.7	173.3	42.1	23.4	14.5	103.2	3.2	3.2	1.9	9.2
110	87.9	87.9	43.9	198.8	23.7	28.6	3.7	154.26	3.8	3.8	1.9	7.9
120	36.7	36.7	43.9	97.9	8.9	5.7	4.7	64.7	1.6	1.6	1.6	3.2
Total	1666.0	2457.8	1065.4	3871.9	933.5	1800.3	514.2	2918.1	70.7	108.2	45.4	146.5

Si la demanda evapotranspirativa y la lluvia efectiva de la Figura 2 se compara con los riegos aplicados durante el ciclo de cultivo (Cuadro 3), puede observarse que todos los tratamientos estuvieron regados en exceso y en mayor proporción el testigo. Esto quiere decir que dichas láminas son susceptibles de reducirse buscando como máximo un 30% de escurrimiento, lo que puede proveer mayor eficiencia en el uso del agua y conservación del recurso y eventualmente incrementar la superficie de siembra.

Estos resultados demuestran que en las condiciones actuales en que se desarrolla el cultivo del arroz en el Valle de Apatzingán, el agua se

desperdicia en un 75% vía escurrimiento y en 4.7% vía percolación. Los tratamientos evaluados reducen sustancialmente las pérdidas; sin embargo, la lámina de riego puede disminuirse aún más.

La lámina de riego de 3,871 mm aplicada al testigo es 50% inferior a la citada en otros lugares como Veracruz (Arévalo (3), 1990); empero, es 54% mayor a la que se aplica en Sinaloa (Hernández (13), 1982).

En el Cuadro 4 se presenta el consumo de agua por cada tratamiento, de acuerdo con la ecuación de balance hidrológico. Los valores totales obtenidos en los cuatro tratamientos, superan los 600 mm consignados por Grist (12) en 1975 para láminas netas de riego de 1,200 mm, como ocurrió en los tratamientos I y III; sin embargo, láminas netas transpirativa. Además, de acuerdo con lo comentado por Palacios y Exebio (24) en 1989, es más importante la oportunidad del riego que la misma lámina consumida por el cultivo.

CUADRO 4: EVAPOTRANSPIRACIÓN ACTUAL (ET_a), POR TRATAMIENTO DE RIEGO EN ARROZ PALAY. PARÁCUARO, MICH. 1992.

Ciclo vegetativo (días)	Consumo de agua (mm)			
	I	II	III	IV
10	60.31	60.51	60.81	60.51
20	32.04	33.14	32.74	26.05
30	38.56	37.36	40.26	69.12
40	27.86	28.06	25.86	116.86
50	75.61	75.22	119.21	96.71
60	54.85	172.75	39.46	152.45
70	58.66	169.75	29.74	123.07
80	155.89	155.38	124.38	145.17
90	169.53	78.92	65.25	137.72
100	44.06	62.76	36.33	103.05
110	32.69	27.79	10.59	37.87
120	25.45	28.65	36.85	62.66
Total	775.50	930.30	621.50	1131.20

Estas cantidades excesivas de transpiración pueden deberse a fallas en la cuantificación de las pérdidas por percolación. Al respecto, Angladette (2) refirió en 1969 láminas de 1,060 mm percoladas con láminas netas de riego

de 1,700 mm en suelos arcillosos, y Grist (12) en 1975 consignó 700 mm de agua percolada con 1,200 mm suministrados. En este experimento las láminas percoladas estimadas fueron de 146 mm como máximo, lo que demuestra la dificultad de cuantificar esta variable en el modelo, como lo señalaron Linsley *et al* (17) en 1988.

Las tasas diarias de transpiración por tratamiento fueron de 5.2, 6.4, 7.7. y 9.4 mm/día para los tratamientos III, I, II y IV, respectivamente. Los tratamientos I y III son los más semejantes a los obtenidos por Robertson (27) en 1975 con tasas de 5.5 mm/día. Es probable que en este experimento los registros de los tratamientos II y IV no sean confiables, ya que indudablemente hubo fugas por percolación no cuantificadas.

Rendimiento de granza.

En el Cuadro 5 se muestra el rendimiento obtenido en cada uno de los tratamientos. El rendimiento de palay fue más alto en el tratamiento I, con más de 2 ton de granza respecto al testigo, lo que demuestra que el arroz no requiere la inundación continua para un óptimo rendimiento. Con suficiente humedad e inundación en las fases críticas del cultivo (20 días en este caso), se pueden esperar los más altos rendimientos, como coincidieron en señalar Hernández (13) en 1982; INIA (15) en 1981; y López (19) en 1977, quienes citaron reducciones del período de inundación al cultivo sin afectar el rendimiento de granza.

CUADRO 5. RENDIMIENTO DE GRANZA E ÍNDICE DE EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA (IEU), POR TRATAMIENTO DE RIEGO EN ARROZ. PARÁCUARO, MICHOACÁN. 1992.

Trata miento	R e n d i m i e n t o (ton/ha)					Media*	IEU** (kg/mm)
	I	II	III	IV	V		
I	7.09	8.80	8.36	6.96	6.92	7.63 a	9.8
IV (Test.)	5.43	4.83	5.80	5.88	6.59	5.71 b	5.6
II	5.11	5.73	5.28	4.90	5.21	5.25 b	8.2
III	5.73	4.91	3.76	5.22	6.05	5.13 b	5.0

CV (%) 12.2

* Valores con la misma letra iguales (prueba de Tukey al 5% de probabilidad)

**IEU= Índice de eficiencia en el uso de agua (rendimiento de grano/ agua evapotranspirada)

El rendimiento superior del tratamiento 1 está acorde con lo referido por Doorenbos y Kassam (10) en 1979, en el sentido de que incluso el arroz cultivado en condiciones de ahorro de agua con manejo controlado del riego, favorecen los rendimientos, obteniéndose producciones 10 % superiores al sistema tradicional de inundación. En este trabajo el rendimiento superó en 25% al obtenido en el tratamiento testigo.

El rendimiento del tratamiento testigo (5.7 ton/ha con 3,871 mm de lámina de agua), puede incrementarse mediante un mejor manejo del agua de riego, y es sensiblemente superior al citado por Grist (12) en 1975, de 3.4 ton/ha, aunque este rendimiento se obtuvo con una lámina de agua de sólo 2,375 mm.

El bajo rendimiento obtenido en los tratamientos II y IV podría deberse al largo período de inundación a que estuvieron sometidos, lo cual coincide con lo expresado por Angladette (2) en 1969; Grist (12) en 1975 y Robertson (27) en 1975, en el sentido de que períodos largos de inundación tienen efecto perjudicial en el cultivo del arroz y, por lo tanto, en la producción de granza.

El índice de eficiencia de uso de agua (IEU) presentado en el Cuadro 5, demuestra que los tratamientos I y II (9.8 y 8.2 kg/mm, respectivamente), fueron los más eficientes comparados con los tratamientos III y testigo (5.0 y 5.6 kg/mm), en función del agua suministrada, el agua consumida y el rendimiento producido. Al respecto, Grist (12) refirió en 1975 índices de 6.7 kg/mm, con un mejor manejo del agua de riego.

Los altos valores de IEU logrados en los tratamientos I y II, muestran la posibilidad de incrementar la superficie de siembra en el área arrocera del Valle de Apatzingán, lo cual se podría traducir en incremento en la productividad y beneficio económico, dado que el cultivo mantiene el más alto nivel de redituabilidad en el Valle.

CONCLUSIONES

1. El calendario de riego con el que se obtuvo el mayor rendimiento de granza y un uso más eficiente del agua en el cultivo del arroz es 0-3-5-15-20-35-50-65-80-115 días, con dos períodos de inundación de cuatro y 20 días a los 20 y 80 días respectivamente (Tratamiento I).

2. El actual esquema de riego que sigue el productor, reduce los niveles de eficiencia de uso de agua en un 57% respecto a un manejo más adecuado del agua de riego (Tratamiento I), y no produce un óptimo rendimiento del cultivo.
3. El rendimiento se incrementa mediante un esquema de riego con inundación parcial durante el ciclo del cultivo, a sólo 24 días, que significa sólo un 25% del tiempo de inundación que el productor normalmente hace.
4. El cambio del manejo de agua propuesto, reduce la cantidad de riego a suministrar al arroz, sin afectar el rendimiento, lo que podría traducirse a ampliar la superficie de siembra y por ende, a un mejoramiento en la economía del Valle y menores cuotas de importación de granza o arroz pulido al país.

LITERATURA CITADA

1. Aguilar, Y.S. y Sifuentes, J.A. 1968. *El cultivo del arroz en el estado de Morelos*. Chapingo, Mex. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Campo Agrícola Experimental "Zacatepec" p. 5 (Circular CIB Núm. 15).
2. Angladette, A. 1969. *El arroz*. 1a. Ed. Ed. Blume. Barcelona, España.
3. Arévalo, M.I. 1990. *Compactación del suelo y producción de arroz. I. Cultivo de riego*. Memorias XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo 1990. Torreón, Coah. p. 49.
4. Beasley, D.B., Huggins, L.F. and Monke, E.J. 1980. *ANSWERS: a model for watershed planning*. Transactions of the ASAE. 23(4):938-944.
5. Calixto, C.N. 1991. *El arroz. Su cultivo en México*. UACH. Chapingo, Méx. 146 p.
6. Campos, A.D.F. 1992. *Procesos del ciclo hidrológico*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, Méx. Capítulo 7. pp. 1-69.
7. Comisión Nacional del Agua. 1993. *Características del Distrito de Riego 097 "Lázaro Cárdenas"*. México, D.F. Gerencia Estatal en Michoacán. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 19 p. (Publicación Especial Núm. 3).
8. Chandler, F.R. 1979. *Rice in the tropics. A Guide to the Development of National Programs*. Int. Agr. Dev. Ser. Westview Press Inc. Boulder, Co. USA. p. 42.
9. De Datta, K.S. 1982. *El arroz de temporal en el mundo*. In: Arroz de Temporal. Conacyt. México, D.F. 265 p.

10. Doorenbos, J. y Kassam, A.H. 1979. *Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos*. Roma, Italia. FAO pp. 131-136 (Manual 33).
11. García C.I. y Briones S.G. 1986. *Diseño y evaluación de sistemas de riego por aspersión y goteo*. Buenavista, Saltillo, Coah. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. p. 8.
12. Grist, D.H. 1975. *Rice*. New York. Longman Group Lim. 601 p.
13. Hernández, A.L. 1982. *Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el cultivo del arroz*. México, D.F. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. 58 p.
14. _____, 1988. *Investigación y desarrollo tecnológico del arroz en la cuenca del bajo Usumacinta*. Memoria del II Taller Internacional sobre Producción de Arroz en el Trópico Húmedo. Campeche, Camp. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Comisión Nacional del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. pp. 44-54.
15. INIA 1981. *Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el estado de Oaxaca*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro de Investigaciones Agrícolas del Pacífico Sur. pp. 52-40.
16. INIFAP. 1990. *Tecnologías para la producción de arroz en México*. México, D.F. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. pp. 10-11.
17. Linsley, R.K., Kohler, M.A. and Pulhus J.L.H. 1988. *Hidrología para ingenieros*. México. Mc Graw Hill. pp. 141-149.
18. Lomas, J. and Levin, J. 1979. *Irrigation*. In: Agrometeorology. Seeman, J., Y.I. Chirker, J. Lomas, and B. Primault (eds.). Germany. Springer Verlag. Ed. Berlin. pp. 217-264.
19. López, A.G. 1977. *El cultivo del arroz en el Distrito de Riego 19. Juchitán, Oax.* Secretaría de Agricultura y Ganadería Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Campo Agrícola Experimental Istmo de Tehuantepec. 12 p. (Folleto para Productores Núm. 3).
20. López, M.R. y Muñoz V.J.A. 1993. *Apatzingán A-89, Nueva variedad de arroz para el Valle de Apatzingán, Mich.* Morelia, Mich. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. 9 p. (Folleto Técnico Núm. 6).
21. Oleschko, K. 1994. Manejo eficiente de los vertisoles: su diagnóstico y sus indicadores. *Terra* 12(4):373-382.
22. Ortiz, M.G. 1973. *Recomendaciones para el cultivo del arroz en Morelos*. Chapingo, Méx. Secretaría de Agricultura y Ganadería, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, 17 p. (Circular CIAMEC Núm. 44).
23. Ortiz, L.C. 1988. *Avances y perspectivas en la producción continua de arroz en Campeche. La experiencia del Valle de China*. En: Taller Internacional sobre Producción de Arroz en el Trópico Húmedo. Campeche, Camp. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Comisión Nacional del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. p. 63-79.

- 24 Palacios, V.E. y A. Exebio, G. 1989. *Introducción a la teoría de la operación de los distritos y sistemas de riego*. México, Futura. p. 224-231.
25. Paredes, T.A. 1974. *El cultivo del arroz en Morelos mediante siembra directa*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Campo Agrícola Experimental Zacatepec. p. 5 (Circular CIAMEC Núm. 56).
26. Ponnampereuma N. F. 1982. *Factores limitantes del crecimiento en suelos aeróbicos*. En: "Arroz de Temporal". México, Conacyt. pp. 42-46.
27. Robertson, G.W. 1975. *Rice and weather*. World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland. p 9-36. (Technical Note 144).
28. Rodríguez, Z.C. 1979. *Instructivo para el manejo y reporte de experimentos agrícolas bajo condiciones de riego*. G. Palacio, Dgo. Secretaría de agricultura y Recursos Hidráulicos, CENAMAR. 75 p. (Boletín Técnico Núm. 1).
29. Tapia, V.L.M., A. Muñoz V. y R. López M. 1992. *Lámina y método de riego complementario para cultivar arroz en el Valle de Apatzingán*. Morelia, Mich. V Reunión Científica Forestal y Agropecuaria. Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de Michoacán. p. 156.
30. Tijerina, C.L. 1993. *Investigación aplicada, la ingeniería de riego*. En: "La investigación Científica en las Ciencias Agrícolas en México". Ciencia. 44:37-50.
31. Torres, P.J. y Del Valle, F.H. 1994. Estrategia financiera para perforación de pozos partiendo de programa demostrativo en arroz para el sur de Campeche. Chapingo, Méx. *Revista Chapingo, serie Ingeniería Agrícola*. 1(1):91-96.
32. Yoshida, S. 1982. *Factores que limitan los rendimientos y el crecimiento de arroz de temporal*. México, Conacyt. pp. 48-75.