

RIEGO Y DRENAJE

RESUMEN DE LA INVESTIGACION REALIZADA EN FRECUENCIAS DE RIEGO Y EVAPOTRANSPIRACION DE 1982 A 1987

*Ing. Jorge Sandoval
Facultad de Agronomía*



I. INTRODUCCION

Para la planificación, diseño y operación de sistemas de riego es indispensable el conocimiento de la cantidad de agua a aplicar y la frecuencia adecuada de riego. El agua es esencial para las plantas, pero tanto su déficit como su exceso son perjudiciales a la producción, es por ello que se hace necesaria la investigación en riego y así poder utilizar más eficientemente el recurso agua que cada día es más escaso y costoso.

En este reporte se presenta un resumen y análisis de los resultados de los experimentos realizados de 1982 a 1987 en el proyecto de investigación en frecuencias de riego y evapotranspiración del Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Durante esos 6 años se han ejecutado 20 experimentos en 6 regiones de Guatemala, en los cultivos de tomate, melón, cebolla, chile pimiento, pepino, maíz, frijol, tabaco y remolacha, habiendo sido todos ellos trabajados a través de investigaciones de tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. No está demás hacer notar que en Guatemala antes de 1982 la investigación sobre uso del agua por los cultivos era prácticamente inexistente.

Este programa de investigación será continuado durante el tiempo necesario para cubrir las zonas y cultivos principales bajo riego en el país, hasta obtener resultados consistentes y confiables.

Docente - Investigador de la Facultad de Agronomía. Autor del Libro "Principios de Riego y Drenaje."

2. OBJETIVOS

- 2.1 Determinar la frecuencia de riego más recomendable para diferentes cultivos y regiones de Guatemala.
- 2.2 Determinar la evapotranspiración total o consumo de agua en el ciclo de cultivo.
- 2.3 Establecer el grado de agotamiento de la humedad aprovechable del suelo.
- 2.4 Verificar la adaptabilidad para el área de estudio, de diferentes fórmulas que estiman la evapotranspiración.
- 2.5 Establecer la relación evapotranspiración/evaporación de tanque tipo "A" para diferentes etapas de desarrollo del cultivo.

3. METODOLOGIA

Las plantas se siembran en el campo en parcelas experimentales de tamaño variable dependiendo del cultivo. El método de riego utilizado es el de surcos, por ser el más empleado en Guatemala, derivando el agua de los canales hacia los surcos mediante sifones previamente calibrados, o usando orificios previamente aforados, con una carga de agua constante para asegurar que la cantidad de agua aplicada sea la necesaria para elevar la humedad del suelo en la zona principal de raíces a capacidad de campo. El diseño experimental utilizado es el de bloques al azar.

Los tratamientos consisten en aplicar el agua a intervalos de riego preestablecidos de días, incorporando dentro de los mismos un testigo con la o las frecuencias de riego usadas por los agricultores del lugar, tratando de cubrir un amplio rango que va desde intervalos cortos hasta relativamente largos, lo cual permite explorar el comportamiento de la planta cuando se le somete a tensiones de humedad que van desde muy altas a bajas. Lo anterior implica que la frecuencia de riego se mantenga fija para cada tratamiento y la lámina o cantidad a reponer en cada riego varía de acuerdo a la cantidad de agua consumida en el período entre un riego y el subsiguiente.

Para calcular la evatranspiración se determina la humedad del suelo después de aplicar el riego (cuando el suelo está a capacidad de campo) e inmediatamente antes de aplicar el riego subsiguiente, la diferencia entre los dos contenidos de humedad así determinados es la cantidad de agua evapotranspirada en el período entre dos riegos. El método gravimétrico, usando horno para secado de suelo, es usado para determinar la humedad del mismo; se toman 2 ó 3 muestras de suelo por cada parcela y por cada estrato de 30 cm de espesor (hasta completar la profundidad radicular). A cada muestra se le calcula el porcentaje de humedad en base a peso de suelo seco y al final se promedia el resultado obtenido de las 2 ó 3 muestras por cada parcela y estrato, para así obtener un solo dato de porcentaje de humedad el cual es luego expresado en términos de lámina de agua.

Para verificar si los valores de tasa de evapotranspiración semanal calculados con las fórmulas, equivalen a los valores de evapotranspiración medidos en el campo, se efectúan análisis de correlación lineal simple. De obtener coeficientes de correlación altos, se concluye que el modelo de regresión lineal simple explica satisfactoriamente la relación entre los datos medidos y los calculados con la fórmula; entonces deben efectuarse dos pruebas de hipótesis para determinar que la pendiente de la recta es igual a uno y que el intercepto es igual a cero, de ser así esto indica que los valores de evapotranspiración calculados con la fórmula son equivalentes a los medidos en el campo y que la fórmula sí se adapta a la región y cultivo.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presentan algunas características climáticas de las 6 localidades en las cuales se ha experimentado.

De manera general en estos lugares la precipitación es casi nula en los meses de noviembre a abril, período en el cual se realizan los experimentos.

CUADRO 1.
LOCALIZACION Y CARACTERISTICAS CLIMATICAS
DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES

LUGAR	Long. oeste	Lat. norte	TEMPERATURA			Altura snm (m)	Precip. pluvial (mm)	Humed. relativa media a- nual (%)
			min.	prom.	max.			
La Fragua Zacapa	89° 32.5'	14° 57.5'	19	27	38	210	500	70
Guastatoya El Progreso	90° 0.4'	14° 51'	15	27.4	40	517	857	67
El Rancho El Progreso	89° 05'	14° 56'	19.9	28.0	34.6	260	739	64
San Jeróni- mo, B. V.	90° 14'	15° 04'	15.3	21.1	27.6	960	867	74
Monjas, Jalapa	89° 52.5'	14° 29.5'	16.4	22.0	29.0	960	956	65
Bárcena Villa Nueva	90° 36.6'	14° 30.25'	14.5	19.7	24.8	1300	1000	75

Se discutirán a continuación los resultados obtenidos para cada cultivo tratando de resumir, si se deseara mayor profundidad en la información se recomienda consultar la bibliografía que se cita en este reporte.

4.1 TOMATE

Se han efectuado cinco experimentos en el cultivo del tomate, como se muestra en el Cuadro 2. A continuación se discutirán los aspectos investigados en este cultivo.

CUADRO 2
EPOCA DE SIEMBRA-COSECHA, LUGAR, VARIEDAD Y TIPO DE SUELO
EN QUE SE REALIZARON LOS CINCO EXPERIMENTOS EN TOMATE.

Experimento	Siembra-cosecha	Lugar	Variedad	Suelo	Estudiante Investigador
Tomate I	Dic/82-Feb/83	El Rancho	Roma VF	Franco arenoso	Jorge L. Soberanis
Tomate II	Nov/83-Feb/84	La Fragua	UC-82c	Arcilloso	José Luis Zea
Tomate III	Nov/83-Feb/84	La Fragua	UC-82c	Franco-arcillo-arenoso	Francisco Andrino
Tomate IV	Ene/85-Abr/85	Guastatoya	Roma VF	Franco arcilloso	Edwin Oliva
Tomate V	Dic/86-Abr/87	San Jerónimo	UC-82c	Franco-arenoso	Mario Orozco

4.1.1 Rendimiento:

El Cuadro 3 resume los rendimientos en TM/ha obtenidos en los diferentes experimentos.

Se puede concluir que de manera general el agricultor de Guatemala tiende a regar más frecuentemente que lo necesario, ya que en los cuatro lugares en donde se experimentó el agricultor riega cada 8 días, pudiéndose alargar la frecuencia 12, 16 y hasta 20 días. Pudo determinarse en los cinco experimentos que la frecuencia de riego no tuvo efecto sobre la mortalidad de las plantas ni sobre la calidad del fruto.

CUADRO 3
 RENDIMIENTO EN TM/HA DE LOS CINCO EXPERIMENTOS
 REALIZADOS EN TOMATE

Frecuencias de Riego (días)	Tomate I El Rancho	Tomate II La Fragua	Tomate III La Fragua	Tomate IV** Guastatoya	Tomate V San jerónimo
4	23.77*				
6	23.25*				
8	22.48*	43.7*	30.71*	11.27*	23.04*
10	21.57*				
12	23.64*	38.8*	28.56*	10.29*	20.48*
16		37.5*	27.62*	8.58*	20.07*
20		38.8*	22.91*	7.29*	18.90*
24		30.4*	18.79	8.38*	17.40*
25				5.30	16.56*

* Representan los rendimientos mayores y que no presentan diferencia estadísticamente significativa (dentro del mismo experimento).

** Los rendimientos obtenidos en este experimento se consideran muy bajos, probablemente por presencia de sodio en el suelo.

Se considera que más experimentación debe ser desarrollada en Tomate en cada una de las regiones para obtener resultados aún más consistentes y confiables.

4.1.2 Uso del Agua:

En esta parte se discute lo referente a la lámina total de agua consumida o evapotranspiración, el número de riegos aplicados y el agotamiento de la humedad aprovechable del suelo entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

Como puede observarse en el Cuadro 4 a intervalos de riego más largos la lámina consumida siempre decrece, corroborándose de esta manera que, si existe más disponibilidad de agua en el suelo, las plantas tienden a consumir más. Si consideramos que no es recomendable regar cada 4 ó 6 días (porque no existe diferencia estadísticamente significativa con el rendimiento del riego cada 12, 16 ó 20 días) entonces podemos concluir que de manera general el tomate regado con una frecuencia de 8 días consume alrededor de 35 a 40 cm y regado cada 24 y 28 días alrededor de 20 a 25 cm. Lógicamente se dan las variaciones con el lugar, la época, variedad, densidad de siembra y tipo de suelo. Si trabajamos con términos promedio regando cada 12 ó 16 días, que es lo recomendable por el momento, el cultivo consume aproximadamente 28.5 cm durante su ciclo y 7 riegos deben ser aplicados en promedio.

CUADRO 4
LAMINA TOTAL DE AGUA CONSUMIDA (CM)
Y NUMERO DE RIEGOS APLICADOS

Frecuencia de riego (días)	Tomate I El Rancho	Tomate II La Fragua	Tomate III La Fragua	Tomate IV Guastatoya	Tomate V San Jerónimo
4	62.7 (18)				
6	41.0 (12)				
8	31.7 (9)	36.9 (10)	40.6 (10)	34.1 (11)	44.2 (13)
10	23.9 (7)				
12	23.2 (6)	33.9 (7)	28.2 (7)	28.9 (8)	32.1 (9)
16		32.6 (6)	26.4 (6)	23.7 (7)	27.8 (8)
20		30.3 (5)	23.8 (5)	21.3 (6)	27.0 (7)
24		28.1 (4)	19.9 (4)	20.9 (5)	25.8 (6)
28					23.9 (5)

() = número de riegos aplicados.

El agotamiento de la humedad aprovechable, del estrato 0-30 cm de suelo, en todos los experimentos regados con frecuencia de 8 días nunca fue mayor del 50 o/o. En ningún lugar ni tratamiento la humedad del suelo alcanzó valores de punto de marchitez permanente, esta es una de las razones por la cual las frecuencias de riego usadas no causaron mortalidad de plantas. SE determinó además que la etapa de mayor consumo de agua es a finales de la floración, en la fructificación y cosecha.

4.1.3 Verificación de la adaptabilidad de fórmulas para calcular la evapotranspiración:

En lo referente a la verificación de las fórmulas para calcular evapotranspiración, en "El Rancho" se probó únicamente la de Blaney-Criddle modificada por Phelan, siendo equivalente a evapotranspiración medida al regar cada 10 y 12 días. En la Fragua se probaron las fórmulas de Blaney-Criddle modificada por Phelan y la de Hargreaves modificada en 1966, equivaliendo la primera a la evapotranspiración medida al regar cada 8 y 12 días. En Guastatoya se probaron las fórmulas de Blaney-Criddle y Hargreaves modificada en 1966 y 1983 a la evapotranspiración medida al regar cada 8 días. En San Jerónimo también se probaron todas las fórmulas anteriores, encontrándose que ninguna se adapta para calcular la evapotranspiración en tomate de la zona.

4.1.4 Relación evapotranspiración/evaporación de tanque tipo "A"

Los valores del coeficiente "C", que representan la relación evapotranspiración/evaporación del tanque tipo "A" fueron determinados para 4 etapas de desarrollo y se muestran en el Cuadro 5.

En este Cuadro no aparecen datos para el tomate sembrado en El Rancho por no haberse medido la evaporación. Como puede notarse los valores varían de un lugar a otro, se considera que más experimentación es necesaria para lograr afinar estos coeficiente en cada región y poder usarlos en el cálculo de la evapotranspiración para conocer el requerimiento de riego del cultivo a partir de datos de evaporación de tanque.

CUADRO 5
COEFICIENTE "C" DE LA RELACION
EVAPOTRANSPIRACION/EVAPORACION DE TANQUE TIPO "A"

Etapa de Desarrollo	Tomate II La Fragua	Tomate III La Fragua	Tomate IV Guastatoya	Tomate V S. Jerónimo
Desar. Vegetativo	0.58	0.49	0.65	0.78
Floración	0.77	0.57	0.72	0.60
Fructificación	0.66	0.58	0.57	0.58
Cosecha	0.57	0.58	0.34	0.50

Los valores de "C" del Cuadro 5 son calculados con el promedio del valor de "C" de las frecuencias que más rendimiento tuvieron.

4.2. MELON

Se han efectuado 4 experimentos en la Fragua, Zacapa, del melón, 3 de ellos en el tipo Honey Dew y uno en Cantaloupe como se muestra en el Cuadro 6.

4.2.1 Rendimiento:

En el Cuadro 7 se resume los rendimientos de melón en cajas exportables/ha. La dimensión de una caja exportable es tal que acomoda aproximadamente 18 a 20.5 kg. de fruta en promedio; si en una caja caben 10 melones entonces se dice que el melón es No. 10 ó de diámetro 10.

Como puede observarse en el Cuadro 7, en los tres experimentos realizados en el melón tipo HONEY Dew, regar cada 8, 12 ó 16 días produce rendimientos que no presentan diferencias estadísticamente significativas (exceptuando el Melón 1

CUADRO 6.
EPOCA DE SIEMBRA-COSECHA, VARIEDAD Y TIPO DE SUELO
EN QUE SE REALIZARON LOS CUATRO EXPERIMENTOS
DE MELON EN LA FRAGUA, ZACAPA

Experimento	Siembra-cosecha	Variedad (Tipo)	Suelo	Estudiante Investigador
Melón I	Feb/84-Abr/84	Tam Dew (Honey Dew)	Arcilloso	Luis F. Méndez
Melón II	Ene/84-Abr/84	Mayan Sweet (Honey Dew)	Franco- arcilloso	Manfredo Co- rado
Melón III	Ene/86-Marzo/86	Dulce (Can- taloupe)	Arcilloso	Gerardo Méndez
Melón IV	Ene/86-Marzo/86	Mayan Sweet (Honey Dew)	Arcilloso	Mardoqueo Gil

en el cual regar cada 12 días produjo menos que cada 16 días). Puede recomendarse entonces regar este tipo de melón cada 8, 12 ó 16 días; además aún regando cada 12 ó 16 días se producen más de 850 a 1,000 cajas exportables/ha (exceptuando en Melón I), lo cual es considerado un rendimiento bueno para la región.

Al regar este tipo de melón con una frecuencia más larga de 16 días se produce una buena cantidad de melones, pero éstos no cumplen con los requisitos de exportación, lo cual es importante ya que el producto se destina exclusivamente a la exportación. Se recomienda que un experimento más sea desarrollado en La Fragua en este tipo de melón.

CUADRO 7.
RENDIMIENTO EN CAJAS EXPORTABLES/HA DE LOS CUATRO
EXPERIMENTOS REALIZADOS EN MELON EN LA FRAGUA, ZACAPA

Frecuencias de riego. (días)	Melón I (Honey Dew) c.e./ha	Melón II (Honey Dew) c.e./ha	Melón III (Cantaloupe) c.e./ha	Melón IV (Honey Dew) c.e./ha
8	1080*	1727*	964*	1065*
12	704	1136	705	1062*
16	767*	1095	731*	1048*
20	585	837	653	1396*
24	723	734	672	1217*
28	530	745		

* Representan los rendimientos mayores y que no presentan diferencia estadísticamente significativa (dentro del mismo experimento).

En el caso del Melón III del tipo Cantaloupe, debido a que solo se cuenta con un experimento y que existe la inconsistencia de que regar cada 16 días produjo más que cada 12 días, se recomienda efectuar más investigación y mientras tanto regar con una frecuencia de 8 días, para no arriesgarse a que la calidad del melón no llene los requisitos de exportación.

En ninguno de los 4 experimentos la frecuencia tuvo efecto sobre la mortalidad de las plantas. En cuanto a los grados Brix del fruto existe una tendencia a ser más alto en los melones regados cada 24 días, pero los grados Brix del fruto de los tratamientos regados con frecuencias de 8 a 20 días cumplen con los requisitos de calidad para exportación.

4.2.2 Uso del Agua:

En el Cuadro 8 se muestra la lámina total evapotranspirada y el número de riegos aplicados en cada tratamiento.

CUADRO 8
LAMINA TOTAL DE AGUA CONSUMIDA (cm)
Y NUMERO DE RIEGOS APLICADOS.

Frecuencia de riego (días)	Melón I (Honey Dew)	Melón II (Honey Dew)	Melón III (Cantaloupe)	Melón IV (Honey Dew)	Promedio de Melón I, II, IV (Honey Dew)
8	35.1 (7)	36.6 (8)	38.1 (8)	37.5 (7)	36.4
12	25.2 (5)	26.9 (6)	28.3 (5)	30.7 (6)	27.6
16	30.6 (5)	29.5 (5)	32.7 (5)	32.3 (5)	30.8
20	21.4 (4)	19.8 (5)	27.1 (4)	30.9 (4)	24.0
24	26.1 (4)	17.8 (4)	26.2 (4)	28.6 (4)	24.2
28	22.6 (4)	20.2 (4)	-	-	21.4

() Número de riegos aplicados

En el inciso anterior se recomienda regar el Melón Tipo Honey Dew cada 8, 12 ó 16 días, al usar estas frecuencias de riego el consumo promedio de agua para los tres experimentos en este tipo de melón fue bastante uniforme, teniendo valores de 36.4, 27.6 y 30.8 cm respectivamente y el número de riegos es de 5 a 7. La evapotranspiración para el melón tipo Cantaloupe fue de 38.1, 28.3 y 32.7 cm para las frecuencias de riego de 8, 12 y 16 días lo cual es bastante similar al consumo de agua del tipo Honey Dew. Se recomienda aplicar 8 riegos en el Melón tipo Cantaloupe.

En los tratamientos regados cada 28 días la humedad del suelo alcanzó valores de punto de marchitez permanente, los otros tratamientos no se llegó a PMP. Las etapas de mayor consumo de agua fueron la fructificación y cosecha.

4.2.3 Verificación de la adaptabilidad de fórmulas para calcular la evapotranspiración:

Se trabajó con las fórmulas de Blaney-Criddle modificada por Phelan y la de Hargreaves modificada en 1966, encontrándose que ninguno de estos métodos estiman adecuadamente la tasa de evapotranspiración en melón en La Fragua, Zacapa.

4.2.4 Relación evapotranspiración/evaporación de tanque tipo "A"

Esta relación fue determinada para 3 etapas de desarrollo del cultivo y usando el promedio de los tratamientos regados de 8 a 16 días que fueron los más productivos. El resultado se muestra en el Cuadro 9.

CUADRO 9
COEFICIENTE "C" DE LA RELACION
EVAPOTRANSPIRACION/EVAPORACION DE TANQUE TIPO "A"

Etapa del Desarrollo	Melón I	Melón II	Melón III	Melón IV
Desarrollo vegetativo	0.34	0.19	0.44	0.52
Floración	0.57	0.40	0.63	0.47
Fructificación	0.74	0.66	0.84	0.69

Como puede observarse en el Cuadro 9, los coeficientes determinados varían mucho de un experimento a otro, por lo que no se recomienda usar el tanque de evaporación tipo "A" para calcular la evapotranspiración en melón en esta zona ya que daría datos poco confiables. En la etapa de fructificación los coeficientes "C" son más altos en todos los experimentos, lo cual reafirma que en esta etapa el consumo de agua es mayor, recomendándose que se mantenga el suelo sin déficit de humedad.

4.3 CEBOLLA

Se han efectuado tres experimentos en cebolla variedad Chata Mexicana, dos de ellos en Bárcena, Villa Nueva y el otro en Monjas, Jalapa; el Cuadro 10 muestra las características generales de estos experimentos. En Diciembre de 1987 se principió otro experimento en Bárcena, el cual será el último en este lugar ya que se han obtenido resultados bastante consistentes en los dos primeros.

4.3.1 Rendimiento:

El Cuadro 11 resume los rendimientos de bulbos en T.M./ha obtenidos en los tres experimentos.

CUADRO 10
EPOCA DE SIEMBRA-COSECHA, LUGAR Y TIPO DE SUELO
EN QUE SE REALIZARON LOS EXPERIMENTOS EN CEBOLLA

Experimento	Siembra-cosecha	Lugar	Suelo	Estudiante Investigador
Cebolla I	Dic/83-Feb/84	Bárcena Villa Nueva	Franco arcilloso	Francisco Sánchez
Cebolla II	Dic/84-Marzo/85	Bárcena Villa Nueva	Franco arcilloso	Mario Sagastume
Cebolla III	Ene/87-Abril/87	Monjas, Jalapa	Arcilloso	David Pineda

CUADRO 11
RENDIMIENTO DE BULBOS EN T.M./HA DE LOS TRES EXPERIMENTOS
REALIZADOS EN CEBOLLA

Frecuencia de Riego - (días)	Cebolla I (Bárcena)	Cebolla II (Bárcena)	Cebolla III o (Monjas)
4	25.6*		
8	29.8*	29.8*	27.1*
12	25.2*	25.9+	23.7+
16	25.2*	25.4+	21.6
20	21.3	20.3	17.6
24	17.7	17.9	15.6
28		15.0	13.3
32		13.7	-

* Rendimiento superior a los demás (dentro del mismo experimento)

+ Rendimiento que le sigue al superior (dentro del mismo experimento)

Para la zona de Bárcena es conveniente hacer notar la gran similitud de los resultados obtenidos en los dos experimentos. Regando con una frecuencia de 8 días se producen 29.8 TM/ha y regando cada 12 y 16 días se obtienen cerca de 25.5 TM/ha, rendimiento que es considerado bueno. Los agricultores en este lugar riegan la cebolla con intervalos de riego menores de 8 días. La cebolla sembrada en Monjas y regada cada 8 días produjo 27.1 TM/ha, rendimiento que sí presenta diferencia estadísticamente significativa con la regada cada 12 días, que es de 3.7

TM/ha rendimiento considerado aún bueno, en condiciones de poca disponibilidad de agua podría regarse cada 16 días que aún produce 21.6 TM/ha lo cual es aún considerado aceptable. Más experimentación es necesaria en Monjas sobre este cultivo.

En ninguno de los 3 experimentos las frecuencias de riego usada tuvieron efecto sobre la mortalidad de las plantas.

4.3.2 Uso del agua:

En el Cuadro 12 se muestra la lámina total evapotranspirada y el número de riegos aplicados en cada tratamiento. Para el experimento en Cebolla I no se presenta la lámina de agua consumida, debido a que no se calculó correctamente.

CUADRO 12
LAMINA TOTAL DE AGUA CONSUMIDA (cm)
Y NUMERO DE RIEGOS APLICADOS.

Frecuencia de riego (días)	Cebolla I (Bárcena)	Cebolla II (Bárcena)	Cebolla III (Monjas)
4	— (17)		
8	— (9)	34.6 (9)	27.9 (9)
12	— (6)	24.4 (6)	20.9 (7)
16	— (5)	20.2 (4)	18.5 (5)
20	— (4)	17.2 (3)	18.0 (4)
24	— (3)	16.0 (3)	17.3 (3)
28		14.5 (2)	16.0 (3)
32		14.2 (2)	15.4 (3)

() = número de riegos aplicados.

En el Cuadro 12 puede observarse que invariablemente el consumo de agua es menor a medida que se alarga el intervalo de riego variando de 14.2 a 34.6 cm. Debe notarse que el ahorro de agua es sustancial al lugar cada 12 días comparado con riego cada 8 días, por lo que puede ser recomendable regar cada 12 días si se desea ahorrar agua por ser escasa o cara, obteniéndose producciones aún aceptables. Esto dependerá del análisis económico.

En los experimentos realizados en Bárcena la humedad del suelo alcanzó valores de PMP para los tratamientos regados cada 20 días ó más. En Monjas no se alcanzó el PMP.

4.3.3 Verificación de la adaptabilidad de fórmulas para calcular la evapotranspiración:

La única fórmula verificada fue la de Hargreaves modificada en 1983, llegándose a determinar que ésta estima bien la evapotranspiración si el cultivo se riega cada 12 días en Bárcena y cada 8 días en Monjas. Además los resultados obtenidos con esta fórmula correlacionan muy bien con la evapotranspiración medida en los otros tratamientos, pudiendo ser ajustada.

4.3.4 Relación evapotranspiración/evaporación de tanque:

En el experimento de Cebolla I no se midió la evaporación y en el de Cebolla II se midió con un tanque evaporímetro de fibra de vidrio (Rossbach FV-122-R). En Monjas si se usó el tanque tipo "A". La relación E_t/E_v fue determinada para 4 etapas de desarrollo del cultivo y usando el promedio de los tratamientos regados cada 8, 12 y 16 días que fueron los más productivos. El resultado se muestra en el Cuadro 13.

CUADRO 13
COEFICIENTE "C" DE LA RELACION
EVAPOTRANSPIRACION/EVAPORACION

Etapa de desarrollo	**	Cebolla II (Bárcena)	Cebolla III (Monjas)
Inicial	20	0.36	0.25
Desarrollo	30	0.56	0.31
Mediados	26	0.88	0.49
Final	12	0.43	0.55

** Duración aproximada de la etapa en días

Más experimentación en estos lugares es necesaria para poder usar estos coeficientes en el cálculo de la evapotranspiración a partir de datos de evaporación.

4.4 CHILE PIMIENTO, PEPINO, TABACO, REMOLACHA, MAIZ Y FRIJOL.

Las características generales de los ocho experimentos realizados en estos cultivos se presentan en el Cuadro 14. Como puede observarse, en ningún cultivo de los presentados se ha hecho investigación más de una vez en cada lugar, por lo que se recomienda continuar experimentando en estas regiones con los mismos cultivos hasta obtener resultados consistentes y confiables.

CUADRO 14
EPOCA DE SIEMBRA-COSECHA, LUGAR, VARIEDAD Y TIPO DE SUELO
DE LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EN CHILE PIMIENTO, PEPINO,
TABACO, REMOLACHA, MAIZ Y FRIJOL.

Experimento (Cultivo)	Siembra-cosecha	Lugar	Variiedad	Suelo	Estudiante Investigador
Chile Pimiento I	Dic/82-Mar/82	El Rancho	Criolla	Franco arenoso	Augusto Tello
Chile Pimiento II	Ene/85-Mayo/85	Guastatoya	Pimiento rojo	Franco arcilloso	Luis Morán
Pepino I	Ene/86-Abr/86	La Fragua	Poinsett	Arcilloso	Luis Morales
Pepino II	Dic/86-Marz/87	San Jeró- nimo	Poinsett	Franco arenoso	Walther Orozco
Tabaco	Ene/85-Abr/85	Guastatoya	KY-17	Franco arcilloso	Jorge Ruano
Remolacha	Ene/85-Abr/85	Bárcena	Detroit	Franco arcilloso	Julio Cruz
Maíz	Ene/86-Mayo/86	La Fragua	ICTA B-1	Arcilloso	Mario García
Frijol	Ene/87-Abr/87	San Jeró- nimo	ICTA-Ostúa	Franco	Ingrid Figueroa

4.4.1 Rendimiento:

El Cuadro 15 resume los rendimientos obtenidos en los ocho experimentos para las diferentes frecuencias de riego usadas.

De acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda que el chile pimiento en El Rancho sea regado cada 12 días, el pepino en La Fragua cada 16 días y en San Jerónimo cada 8 días, el tabaco en Guastatoya cada 8 días, la remolacha en Bárcena cada 6 días, el maíz en La Fragua cada 12 días y el Frijol en San Jerónimo cada 12 días.

En ningún experimento la frecuencia de riego tuvo efecto sobre la mortalidad de plantas

CUADRO 15
RENDIMIENTOS EN TM/HA OBTENIDOS EN CADA EXPERIMENTO Y FRECUENCIAS DE RIEGO

Frecuencia de riego (días)	Chile Pimiento I El Rancho	Chile Pimiento II Guastatoya (1)	Pepino I La Fragua	Pepino II San Jerónimo (2)	Tabaco	Remolacha	Maíz	Frijol (3)
4	21.7*							
6	25.7*					31.7*		
8	26.1*	5.9*	21.5*	16.8*	11.3*		2.1*	0.56*
10	24.1*							
12	25.7*	4.1	19.3*	11.5*	8.5	22.0	2.1	0.44*
16		2.5	18.5*	11.2	7.0		1.9	0.35
18						18.0		
20		2.2	9.8	9.1	7.9		1.0	0.19
24		1.1	10.7	11.0	3.3	17.4	1.0	0.18
28		0.7	10.4	7.4	3.5		0.9	0.18
30						14.2		
36						11.4		

* Representan los rendimientos mayores y que no presentan diferencia estadísticamente significativa (dentro del mismo experimento).

(1) Los rendimientos en este experimento se consideran muy bajos, probablemente por presencia de sodio en el suelo.

(2) Rendimiento de pepino considerado bajo en la región, no se pudo determinar la causa de este rendimiento..

(3) El rendimiento de la variedad ICTA-Ostúa usada en este experimento fue bajo, comparado con el de otras variedades.

4.4.2 Uso del agua:

En el Cuadro 16 se muestra la lámina total evapotranspirada y el número total de riegos aplicados en cada tratamiento.

CUADRO 16
LAMINA TOTAL DE AGUA CONSUMIDA (cm) Y NUMERO DE RIEGOS APLICADOS

Frecuencia de riego (días)	Chile Pim. I El Rancho	Chile Pim. II Guastatoya	Pepino I La Fra- gua	Pepino II S. Jeró- nimo	Tabaco Guastatoya El Progreso	Remolacha Bárcena Villa Nueva	Maíz Fragua (Zacapa)	Frijol San Jeró- nimo Baja Ve- rapaz
4	59.9 (22)							
6	45.8 (15)				46.0			
8	34.3 (11)	33.2 (12)	39.9 (7)	30.8 (11)	35.9 (14)		49.6 (8)	28 (9)
10	32.1 (9)							
12	31.1 (7)	34.9 (9)	32.5 (5)	27.6 (8)	27.5 (11)	21.5	44.2 (17)	22.8 (7)
16		21.3 (7)	28.5 (5)	25.4 (7)	26.0 (9)	16.4	32.2 (6)	21.8 (6)
18								
20		21.0 (6)	28.4 (4)	17.9 (6)	23.0 (8)		37.7 (5)	19.2 (5)
24		16.2 (5)	23.2 (4)	14.8 (5)	23.2 (8)	15.8	34.8 (5)	18.1 (5)
28		14.9 (5)	23.3 (4)	16.0 (5)	20.1 (7)		26.8 (5)	16.5 (4)
30						13.8		
36						13.6		

() = Número de riegos aplicados

De manera general en casi todos los tratamientos de los experimentos realizados, la humedad aprovechable del suelo no se agotó en un 100 o/o

4.4.3 Verificación de la adaptabilidad de fórmulas para calcular la evapotranspiración

La fórmula de Blaney-Criddle modificada por Phelan fue comparada con la evapotranspiración medida en todos los cultivos, excepto remolacha, encontrándose que no se adapta para el cálculo de la evapotranspiración (excepto en el pepino sembrado en San Jerónimo y regado cada 12 días). La fórmula de Blaney-Criddle modificada por Hansen se probó para calcular la evapotranspiración en el chile pimiento en Guastatoya, tabaco, remolacha y frijol no adaptándose en ningún caso.

La fórmula de Hargreaves modificada en 1966 tampoco se adaptó para el cálculo de evapotranspiración en chile pimiento (Guastatoya), tabaco, remolacha, maíz y frijol. Por último la fórmula de Hargreaves modificada en 1983 se probó para los cultivos de chile pimiento (Guastatoya), maíz y frijol, no adaptándose en ningún caso.

De manera general, se puede concluir que ninguna de las fórmulas puestas a prueba se adaptan para estimar la evapotranspiración. Es probable que en investigaciones futuras no se siga verificando la adaptabilidad de las fórmulas, sino que se traten de desarrollar los coeficientes de cultivo para poder usar las fórmulas con mejores resultados; sin embargo, para determinar estos coeficientes es mejor contar con lisímetros o efectuar una serie de experimentos en el mismo lugar y cultivo en los cuales se obtengan datos más consistentes.

4.4.4 Relación Evapotranspiración/evaporación de tanque tipo "A":

El Cuadro 17 muestra los coeficientes "C" para diferentes etapas de desarrollo de los cultivos investigados, estos coeficientes fueron obtenidos en casi todos los casos promediando los valores calculados para las frecuencias regadas cada 8 y 12 días que de manera general dieron los rendimientos mayores. En chile pimiento (El Rancho) y en tabaco (idem) no se determinaron estos coeficientes para las diferentes etapas de su ciclo.

CUADRO 17
COEFICIENTE "C" DE LA RELACION
EVAPOTRANSPIRACION/EVAPORACION

Etapa de desarrollo	Chile Pim. II (Guast.)	Pepino I La Fragua	Pepino II San Jeronimo	Remolacha	Maíz	Frijol
Etapa inicial				0.23		
Des. veget.	0.58	0.43	0.65	0.58	0.57	0.58
Mediados de período				1.08		
Floración	0.84	0.57	0.84	-	0.88	0.64
Fructific.	0.25	0.69	0.88		1.05	0.63
Etapa final				0.66		
Cosecha	0.19	0.68	0.93			

Más experimentación es necesaria para poder usar estos coeficientes en el cálculo de la evapotranspiración a partir de datos de evaporación.

5. BIBLIOGRAFIA

1. ANDRINO ALVAREZ, F. 1985. Efecto en los rendimientos de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) de cinco frecuencias de riego y verificación de la adaptabilidad de fórmulas empíricas para estimación de evapotranspiración en El Oasis, La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 99 p.
2. CORADO ESQUIVEL, M.R. 1984. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en melón (*Cucumis melo* L.) en el Valle de la Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 63 p.
3. CRUZ CORZO, J.F. 1987. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración en remolacha (*Beta vulgaris* var. grasa) para la zona de Bárcena, Villa Nueva. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 58 p.

4. FIGUEROA GUERRA, I.E. 1987. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la Unidad de Riego San Jerónimo, Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 82 p.
5. GARCIA ALDANA, M.R. 1987. Efecto de cinco frecuencias de riego sobre el rendimiento y la evapotranspiración del maíz (*Zea mays* L.) en el Valle de La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 58 p.
6. GIL RODRIGUEZ, M. 1987. Efecto de cinco frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del melón (*Cucumis melo* L.) tipo Honey Dew, variedad Mayan Sweet, en el Valle de la Fragua, Zacapa, Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 64 p.
7. MENDEZ GARCIA, J.G. 1986. Efecto de cinco frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en melón (*Cucumis melo* L.) tipo Cantaloupe en el Valle de La Fragua, Zacapa. Tesis, Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 65 p.
8. MENDEZ GUZMAN, L.F. 1984. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en melón (*Cucumis melo* L.) en el Valle de La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 92 p.
9. MORALES MILIAN, L.E. 1986. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del pepino (*Cucumis melo* L.) en La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.
10. MORAN PALMA, L.F. 1987 Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración en el cultivo del chile pimiento (*Capsicum annum* L.) en la Unidad de Riego El Progreso. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 104 p.
11. OLIVA CERMENO, E. 1986. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del tomate (*Lycopersicon esculentum*) en la Unidad de Riego El Progreso. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 95 p.
12. OROZCO GODINEZ, M.E. 1987. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración en tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) en la Unidad de riego San Jerónimo, Baja Verapaz. Tesis Ing.

Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 66 p.

13. OROZCO MONTENEGRO, W.J. 1987. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del pepino (*Cucumis sativus* L.) en el centro de producción San Jerónimo, Baja Verapaz, Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 74 p.
14. PINEDA HERRERA, D.A. 1987. Efecto de siete frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración de la cebolla (*Allium cepa* L.) para la Unidad de Riesgo "Laguna El Hoyo" municipio de Monjas Jalapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 61 p.
15. RUANO ROSSIL, J.M. 1985. Efecto de seis frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del cultivo del tabaco (*Nicotina tabacum* L.) en la Unidad de Riego El Progreso. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 119 p.
16. SAGASTUME GARZA, M.B. 1986. Efecto de siete frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en cebolla (*Allium cepa* L.) para la zona de Bárcena, Villa Nueva. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 52 p.
17. SANCHEZ CHAVEZ, J.F. 1984. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en cebolla (*Allium cepa* L.) para la zona de Bárcena, Villa Nueva. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 66 p.
18. SOBERANIS L. J.L. 1983. Efecto de la frecuencia de riego en los rendimientos y la medición de evapotranspiración en tomate (*Lycopersicon esculentum*) en la Unidad de Riego El Rancho-Jicaro. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 64 p.
19. TELLO S., C. A. 1983. Efecto de cinco frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en tomate (*Lycopersicon esculentum*) en la Unidad de Riego Rancho-Jicaro. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 70 p.
20. ZEA MORALES, J.L. 1985. Efecto de cinco frecuencias de riego sobre el rendimiento y la evapotranspiración en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*) en un suelo de la serie Chicaj del Valle de La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 78 p.

CONSERVACION DE SUELOS

ESTUDIO PRELIMINAR DE LA EROSIVIDAD DE LAS LLUVIAS EN LA REPUBLICA DE GUATEMALA

*Marco Enrique Bravo de León**

*José Jesús Chonay Pantzay***

*Alan Roberto González Figueroz***



RESUMEN

La distribución e intensidad de las lluvias causan el desprendimiento del suelo, dando origen a lo que se denomina erosión hídrica. Para analizar este proceso erosivo deben cuantificarse los índices de erosividad y conocer sus variaciones para la República de Guatemala.

Los cálculos de los índices de erosividad de las lluvias fueron analizados para cada estación pluviográfica del país (13, 12, 11, 6, 8, 5).

El presente trabajo constituye la etapa final de estimación de los índices de erosividad de las estaciones pluviométricas, mediante la selección de la ecuación de regresión con mayor índice de correlación para aumentar la densidad del factor "R" de la ecuación universal de predicción de pérdida de suelo.

El mapa de iserosividad servirá de base para calcular las pérdidas de suelo y será una guía útil en la evaluación, selección y planificación de prácticas mecánicas y vegetativas de conservación de suelos.

En base a las curvas de iserosividad se concluye que el rango de variación de "R" va de 2,000 a 34,000 MJ.mm/ha. hora, año. Mayores valores de "R" nos indican áreas con mayor riesgo a la pérdida del suelo; la superposición del mapa de iserosividad con mapas temáticos del país permitirá identificar áreas críticas a la erosión hídrica.

* Autor del trabajo de investigación para optar al Título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola.

** Ingeniero Agrónomo M.C. Docente-investigador de la Facultad de Agronomía, USAC. Asesor de tesis.

*** Ingeniero Agrónomo M. Sc. Investigador, División de Estudios Geográficos del Instituto Geográfico Militar. Asesor de tesis.