

Determinación del requerimiento hídrico de cuatro pastos mediante el uso de lisímetros bajo condiciones de El Zamorano, Honduras

Fausto Xavier Plaza Tumbaco

ZAMORANO
Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria
Diciembre, 2004

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

**Determinación del requerimiento hídrico de
cuatro pastos mediante el uso de lisímetros
bajo condiciones de El Zamorano, Honduras**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para
optar al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por

Fausto Xavier Plaza Tumbaco

Honduras
Diciembre, 2004

El autor concede a Zamorano permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para fines educativos. Para otras personas físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

Fausto Xavier Plaza Tumbaco

Honduras
Diciembre, 2004

**Determinación del requerimiento hídrico de cuatro pastos
mediante el uso de lisímetros bajo condiciones de El
Zamorano, Honduras**

Presentado por

Fausto Xavier Plaza Tumbaco

Aprobada:

Miguel Vélez, Ph.D.
Asesor Principal

John Jairo Hincapié, Ph.D
Coordinador de Área Temática
Zootecnia

Gloria Arévalo de Gauggel, MSc.
Asesora

Jorge Iván Restrepo, M.B.A.
Coordinador Carrera de Ciencia
y Producción Agropecuaria

Francisco Álvarez, MAE.
Asesor

Aurelio Revilla, M. S. A.
Decano Académico Interino

Kenneth L. Hoadley, D.B.A
Rector

DEDICATORIA

A Dios.

A mis padres y familia.

A mi hermano Francisco que este documento lo aliente siempre a la superación personal y profesional.

A Fabiola Bolaños por ser mi inspiración y mi fuerza.

Y todas las personas que confían en mí.

AGRADECIMIENTO

A Dios por todas mis virtudes, capacidades y defectos.

A mis padres por el regalo de la vida. Por darme una guía en mi camino y ser siempre el mejor ejemplo.

Al Dr. Miguel Vélez por todas sus enseñanzas, su esfuerzo y confianza a lo largo de mi estadía en Zamorano.

A la Ing. Gloria Arévalo por su apoyo incondicional.

Al Ing. Francisco Álvarez por enseñarme que tanto en lo teórico como en lo laboral existen prioridades. Por todas sus enseñanzas prácticas y por su amistad.

A Osmín Nájera y Gastón Zambrano por su apoyo en mi ausencia y su sincera amistad.

A Rafael Herasme por su apoyo en la parte de campo del presente estudio.

A todas las personas que de una u otra manera intervinieron en la realización de este documento y ayudaron a mi formación profesional.

RESUMEN

Plaza, F. 2004. Determinación del requerimiento hídrico de cuatro pastos mediante el uso de lisímetros bajo condiciones de El Zamorano, Honduras. Proyecto especial de Ingeniero Agrónomo en Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano, Honduras. 10 p.

Los estudios lisimétricos permiten determinar la evapotranspiración de los cultivos (ETc) y con ello el coeficiente de cultivo (Kc). El objetivo del estudio fue determinar el requerimiento hídrico de cuatro pastos mediante el uso de lisímetros bajo condiciones de El Zamorano, Honduras, y correlacionarlos con las variables meteorológicas. Se usaron los pastos: *Andropogon gayanus*, *Brachiaria* híbrido Mulato, *Digitaria eriantha* Transvala y *Panicum maximum* cv. Tobiata. Se instalaron cuatro lisímetros por pasto, eran de drenaje sin nivel freático, con un diámetro de 55 y 60 cm de profundidad. En el fondo se colocó una capa de grava de 20 cm. El drenaje fue medido diariamente a las 5 p.m. Se utilizó el método del balance hídrico para evaluar el uso consuntivo de agua. El control del riego se hizo por medio de tensiómetros a 15 y 30 cm de profundidad y se mantuvo el suelo a capacidad de campo. Se midió la producción de materia seca (MS) con cortes cada 21 días. El pasto de mayor producción ($P < 0.05$) fue el *Brachiaria* híbrido Mulato y el de menor el *Panicum maximum* cv. Tobiata. La ETc semanal aumentó con el desarrollo del pasto, y en Tobiata fue de 28, 40 y 37 mm/semana, en *Andropogon* de 44, 42 y 39 mm/semana, en Transvala de 40, 39 y 58 mm/semana y en Mulato de 49, 50 y 61 mm/semana en la 1era, 2da y 3era semana, respectivamente. Se encontró una correlación positiva de 0.338 ($P < 0.05$) entre la producción de MS y la ETc. El Kc aumentó en todos los pastos de la primera a la segunda semana, pero se mantuvo en la segunda y la tercera semana en el Tobiata y el *Andropogon*, mientras que aumentó 64% en el Transvala y 35% en el Mulato. Estos resultados indican que al aplicar riego hay que diferenciar entre pastos. Los Kc promedio de los pastos fueron de 1.28, 1.52 y 1.89 para la primera, segunda y tercera semana, respectivamente, estos Kc son superiores a los recomendados por FAO. Se encontraron correlaciones bajas, pero significativas ($P < 0.05$), entre la ETc y la humedad relativa, la temperatura mínima y la velocidad del viento; también existe una correlación positiva, aunque no significativa, entre la temperatura promedio y la ETc, indicando que es posible el control del riego por vía de estas variables climatológicas.

Dr. Abelino Pitty

Palabras clave: *Andropogon gayanus*, *Brachiaria* híbrido Mulato, clima, *Digitaria eriantha* Transvala, Evapotranspiración, *Panicum maximum* cv. Tobiata.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
Portadilla.....	i
Autoría.....	ii
Página de firmas.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
Resumen.....	vi
Tabla de contenido.....	vii
Índice de cuadros.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
MATERIALES Y MÉTODOS.....	2
Localización.....	2
Lisímetros.....	2
Balance hídrico.....	2
Suelo.....	3
Corte de los pastos.....	3
Análisis estadístico.....	3
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	4
CONCLUSIONES.....	8
RECOMENDACIONES.....	9
BIBLIOGRAFÍA.....	10

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Producción de materia seca (kg/ha/día) en cortes cada 21 días en el ensayo y en otros estudios en Zamorano, Honduras.....	4
2. Promedios acumulado semanal del requerimiento hídrico (ETc) en mm.....	4
3. Coeficiente de cultivo (Kc) usando ETo.....	5
4. Comparación del coeficiente de cultivo (Kc) con los reportados en literatura (Doorenbos y Pruitt 1977).....	5
5. Comparación del Kc estimado usando la evapotranspiración de referencia (ETo) y la evaporación medida en la pana (Ev).....	6
6. Correlación entre variables meteorológicas, producción (MS/kg/día) y evapotranspiración del cultivo (ETc).....	6
7. Coeficiente de transpiración, litros por kilogramo de materia seca producida.....	7

INTRODUCCIÓN

En Honduras, como en la mayoría de países del trópico, existe dos estaciones climáticas diferenciadas por la precipitación: Una estación seca (verano) de noviembre a abril y otra húmeda o lluviosa (invierno) de mayo a octubre, con un periodo seco de 15 a 30 días llamado canícula en los meses de julio y agosto. Estas fluctuaciones climáticas hacen necesario el suministro adicional de agua al suelo para obtener un crecimiento óptimo de los cultivos.

Para asegurar el éxito de un proyecto de riego es necesario conocer las necesidades de agua del cultivo. Estas varían de una especie a otra y de una etapa fenológica a la siguiente. Determinar el requerimiento hídrico de los cultivos exige estudios lisimétricos en condiciones de tiempo y clima diversos, e independientes para cada cultivo; además los estudios lisimétricos permiten determinar el coeficiente de cultivo (K_c), parámetro importante en la aplicación del riego (García 1990).

En la Escuela Agrícola Panamericana (EAP) para determinar el riego se utiliza la evaporación medida en un tanque clase A (pana de evaporación). Esta medida tiene el problema que durante la noche se sobrestima la evaporación ya que los estomas de las plantas están cerrados y no hay transpiración, mientras que el agua en la pana, al haber acumulado calor durante el día dispone de energía y continúa evaporándose. Es por esto que se utiliza un factor de corrección teórico o coeficiente de la pana (K_p). En pasto del género *Digitaria* Khan *et al.* (1998) determinaron que únicamente 40% de las veces la evapotranspiración es superior a la medida por la pana. Con base en la evaporación, en la EAP se utiliza como referencia de riego en los pastos un requerimiento diario de 4 – 5 mm, sin embargo, en *Digitaria* se han encontrado variaciones en los requerimientos diarios de 2.3 hasta 8.9 mm (Khan *et al.* 1998).

Cuando no se conoce el K_c del cultivo se recurre a datos climatológicos como evaporación, temperatura, radiación y humedad del ambiente para determinar la cantidad de agua a aplicar. Sin embargo en el pasto guinea (*Panicum maximum*), en Zamorano, Marcucci (1999) no encontró mayor relación entre estas variables y la producción de forraje. Puerto (2000) tampoco encontró diferencia en la producción del guinea aplicando láminas de 5, 7, 9 y 11 mm/día bajo condiciones de invernadero.

La EAP cuenta con diversos sistemas de riego; manejarlos con base en los requerimientos para una producción óptima de los cultivos resultará en un ahorro económico. El objetivo de este estudio fue probar el uso de lisímetros para determinar los requerimientos hídricos de cuatro pastos en condiciones de Zamorano y correlacionar los resultados con las distintas variables meteorológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

LOCALIZACIÓN

El ensayo se realizó en el Zamorano, Honduras, al Sudeste de Tegucigalpa, a 800 msnm, 14°N y 87°O, con una precipitación promedio anual de 1100 mm y una temperatura promedio de 24°C.

LISÍMETROS

Se usaron cuatro pastos: *Andropogon gayanus*, *Brachiaria* híbrido Mulato, *Digitaria eriantha* Transvala y *Panicum maximum* cv. Tobiata. El primero es un pasto usado en condiciones extensivas, los otros en condiciones intensivas.

Se instalaron lisímetros de drenaje sin nivel freático con un diámetro de 55 y 60 cm de profundidad. En el fondo se colocó una capa de grava de 20 cm y luego el suelo. Se construyeron cuatro lisímetros por pasto. Cada lisímetro contó con un tubo de drenaje y un tanque colector, que fue medido y vaciado diariamente a las 5:00 p.m.

Este tipo de lisímetro es de fácil funcionamiento y bajo costo de construcción y brinda información válida para periodos medios y largos, de gran utilidad para determinar requerimientos semanales y mensuales (Xingfa *et al.* 1999).

BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico puede entenderse como la evaluación volumétrica de las entradas y salidas de agua a un sistema para conocer su disponibilidad (García 1990). Para establecer un balance hídrico hay que conocer las entradas de agua, que están dadas por la precipitación (P), cuantificada mediante un pluviómetro; el riego (R), medido volumétricamente, y las salidas de agua de un cultivo, que se dan por la evapotranspiración (ETc), que es la pérdida de agua por evaporación desde cualquier superficie evaporante más la transpiración de la vegetación existente, y por el drenaje (D), que es la cantidad de agua que percola a través del suelo por efecto de la gravedad.

También se debe conocer el contenido de agua en la masa de suelo o agua retenida (AR); para ello en el laboratorio del Centro para la Educación y Desarrollo Agrícola (CEDA), se determinaron las curvas de retención de humedad del suelo en los lisímetros y se encontró que entre 10 y 32 centibares este tiene una humedad de 32.6 y 30.6 % con base en volumen. Para controlar la humedad del suelo se utilizaron tensiómetros, colocando dos por lisímetro en cuatro lisímetros (uno por especie), a una profundidad de 15 y 30

cm respectivamente. El riego se hizo cada vez que la lectura de los tensiómetros excedía 32 centibares. Por tanto, los cambios en el contenido de humedad del suelo se aproximaron a cero y no se tomaron en cuenta para el cálculo de la ETc.

La evapotranspiración puede ser representada mediante la siguiente ecuación:

$$ETc = P + R - D$$

El factor (K_c) depende del cultivo y su etapa fenológica y se determinó mediante el balance hídrico.

$$K_c = \frac{ETc}{ETo}$$

Donde ETc es la evapotranspiración medida por los lisímetros y la ETo es la evapotranspiración potencial calculada mediante el método de Penman (Doorenbos y Pruitt 1977) que considera la radiación solar, la humedad relativa, la velocidad del viento y la temperatura.

SUELO

El suelo que se usó en los lisímetros era de textura franco arenosa (68% arena, 18% limo y 14% arcilla), con un pH de 6.35 y con 106, 644, 1970 y 230 ppm de fósforo, potasio, calcio y magnesio, respectivamente. Se puede decir que era un suelo adecuado, pero bajo en materia orgánica (2.8%) y nitrógeno (0.14%). Los lisímetros se instalaron en parcelas del mismo pasto, con un área de 19 m². Para asegurar un buen crecimiento los pastos se fertilizaron con 300, 100 y 200 kg./ha/año de nitrógeno, fósforo (P₂O₅) y potasio (K₂O), respectivamente, fraccionado y aplicado después de cada corte.

CORTE DE LOS PASTOS

Se realizaron tres cortes a intervalos de veintidós días. La recolección de datos inició el 9 de mayo y concluyó el 13 de julio del 2004. Durante ese periodo se registraron los factores climáticos: temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar con una unidad meteorológica (DAVIS ®).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la ubicación de las parcelas se utilizó un diseño de bloques completos al azar, y para el análisis se utilizó el programa Statistical Package for the Social Science (SPSS ®). Se realizó un análisis de varianza y una separación de medios utilizando la prueba T, con un nivel de significancia exigido $P < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En todos los pastos se obtuvo un alto rendimiento, siendo el de mayor producción ($P<0.05$) el *Brachiaria* híbrido Mulato y el de menor rendimiento el *Panicum maximum* cv. Tobiata. Estos rendimientos se compararon favorablemente con los encontrados en estudios de campo en Zamorano (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción de materia seca (kg/ha/día) en cortes cada 21 días en el ensayo y en otros estudios en Zamorano, Honduras.

Pastos	Cortes			Promedio	Comparación con otros estudios
	1	2	3		
	(30/05/04)	(21/06/04)	(13/07/04)		
Tobiata	99.0	98.4	89.5	95.6 ± 4.6 a &	103.5 ^o
Andropogon	105.2	124.3	109.3	112.9 ± 8.7 b	46.5 ¹
Transvala	97.0	112.0	101.8	103.6 ± 6.6 c	62.8 ²
Mulato	131.8	119.5	103.8	118.3 ± 12.2 b	125.6 ³

& Promedios en la misma columna con letras distintas difieren entre sí ($P<0.05$)
 Datos de: ^o Lara 2002. ¹ Díaz y Morales, 2003² Paredes., 2001. ³ Hidalgo, 2004.

El requerimiento de humedad o evapotranspiración (ETc) semanal aumentó con el desarrollo vegetativo del pasto, el mayor requerimiento lo tuvo el Mulato (Cuadro 2). Se encontró una correlación positiva de 0.338 ($P<0.05$) entre la producción de materia seca (MS) y la ETc (Cuadro 6).

Cuadro 2. Promedios acumulado semanal del requerimiento hídrico (ETc) en mm.

Pastos	Semanas del ciclo del cultivo			Total
	1	2	3	
Tobiata	28.4 ± 4.5	40.3 ± 22.8	36.9 ± 20.6	105.6 a b &
Andropogon	43.8 ± 18.8	42.1 ± 24.0	39.4 ± 19.9	125.3 b c
Transvala	39.6 ± 15.8	39.3 ± 11.5	57.9 ± 23.5	136.8 b c
Mulato	49.2 ± 18.3	49.5 ± 16.6	61.0 ± 18.9	159.7 c
Promedio	40.3 ± 15.4	42.8 ± 16.6	48.8 ± 21.0	131.9

& Promedios en la misma columna con letras distintas difieren entre sí ($P<0.05$)

El coeficiente de cultivo (Kc) aumentó con la producción de MS (Cuadros 1 y 3) y fue mayor ($P<0.05$) en el Mulato que en el Tobiatá con una diferencia entre los dos del 54%, mientras que la diferencia en producción fue solamente de 24%. Esto indica que el Tobiatá tuvo menor consumo de agua (Cuadro 7). En los otros pastos (Andropogon y Transvala) la tendencia no fue clara ya que el Kc del Transvala fue similar al del Andropogon aunque este último produjo 11% más de MS ($P<0.05$). Esto indica que se puede usar el mismo factor de corrección (Kc) en los dos pastos.

El Kc aumentó en todos los pastos de la primera a la segunda semana pero se mantuvo en la segunda y la tercera semana en el Tobiatá y el Andropogon, mientras que aumento 64% en el Transvala y 35% en el Mulato. Los dos primeros pastos tienen hojas erectas y son de medios más secos que los segundos, que tienen un crecimiento postrado y con hojas más pequeñas. Estos resultados indican que al aplicar riego hay que diferenciar entre pastos. El Kc se encuentra en función de la ETc, con una correlación positiva de 0.963 ($P<0.01$).

Cuadro 3. Coeficiente de cultivo (Kc) usando ETo.

Pastos	Semanas del ciclo del cultivo			Promedio
	1	2	3	
Tobiatá	0.91 ± 0.13	1.44 ± 0.89	1.39 ± 0.64	1.25 ± 0.61 a b &
Andropogon	1.39 ± 0.58	1.49 ± 0.90	1.48 ± 0.62	1.45 ± 0.62 b c
Transvala	1.26 ± 0.46	1.41 ± 0.50	2.29 ± 1.06	1.65 ± 0.80 b c
Mulato	1.56 ± 0.54	1.77 ± 0.61	2.39 ± 0.84	1.91 ± 0.69 c
Promedio	1.28 ± 0.47	1.52 ± 0.65	1.89 ± 0.84	1.57 ± 0.70

& Promedios en la misma columna con letras distintas difieren entre sí ($P<0.05$)

Los Kc encontrados son superiores a los reportados por FAO (Doorenbos y Pruitt 1977), que sin disponer de información específica para cada uno de los pastos recomienda el uso de los valores promedios. Es posible que la alta variación en la primera etapa (Cuadro 4) se deba a la falta de cobertura después de la cosecha del cultivo, lo cual permitió una alta evaporación del agua en el suelo.

Cuadro 4. Comparación del coeficiente de cultivo (Kc) con los reportados en literatura (Doorenbos y Pruitt 1977).

Semanas	FAO	Lisímetros
1	0.5	1.28
2	1.05	1.52
3	1.15	1.89

Se compararon los Kc obtenidos usando la ETo y usando la evaporación medida en el tanque clase A (ETc/Ev). No se encontraron diferencias ($P < 0.05$) entre los coeficientes, indicando que es posible el uso de esta medida para el control del riego (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comparación del Kc estimado usando la evapotranspiración de referencia (ETo) y la evaporación medida en la pana (Ev).

Pastos	Semanas del ciclo del cultivo						Promedio	
	1		2		3			
	ETo	EV	ETo	EV	ETo	EV	ETo	EV
Tobiatá	0.90	0.81	1.43	1.39	1.39	1.36	1.24	1.19
Andropogon	1.39	1.31	1.48	1.44	1.48	1.44	1.45	1.40
Transvala	1.25	1.15	1.40	1.42	2.29	2.46	1.65	1.66
Mulato	1.56	1.44	1.77	1.79	2.39	2.54	1.91	1.92

EFFECTO DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS

Se encontraron correlaciones bajas pero significativas ($P < 0.05$) entre la ETc y la humedad relativa, la temperatura mínima y la velocidad del viento (Cuadro 6). También existe una correlación positiva, aunque no significativa, entre la temperatura promedio y la ETc, indicando que es posible el control del riego por vía de estas variables climatológicas. No se encontraron correlaciones ($P < 0.05$) entre la producción de materia seca y las variables meteorológicas. Estos resultados concuerdan con los datos obtenidos por Marcucci (1999).

Cuadro 6. Correlación entre variables meteorológicas, producción (MS/kg/día) y evapotranspiración del cultivo (ETc).

	ETc (mm)	MS/kg/día	H.relativa	Rad. Solar	Temperatura			Viento (m/s)
					max	min	prom	
ETc (mm)	1	0.338*	-0.349*	-0.310	0.164	0.357*	0.056	0.374*
MS/kg/día	0.338*	1	-0.190	0.129	0.276	0.206	0.222	0.037

* = $P < 0.05$, Rad. = radiación, H. = humedad, max = máxima, min = mínima, prom = promedio, m/s = metros sobre segundos, ETc = evapotranspiración.

No se encontraron diferencias ($P < 0.05$) entre los pastos en la eficiencia en el uso de agua para fijación de MS (Cuadro 7). Esto se debe a que todos los pastos pertenecen a la familia de las poáceas y son de metabolismo C4.

Cuadro 7. Coeficiente de transpiración, litros por kilogramo de materia seca producida.

Pastos	Cortes			Promedio
	1	2	3	
Tobiatá	614 ± 282	579 ± 287	377 ± 80	523 ± 233
Andropogon	707 ± 185	675 ± 119	272 ± 29	551 ± 237
Transvala	680 ± 171	651 ± 265	699 ± 420	670 ± 267
Mulato	616 ± 149	651 ± 222	699 ± 302	655 ± 205

CONCLUSIONES

- Los lisímetros instalados brindaron información válida para la determinación del requerimiento hídrico de los cultivos.
- La producción de materia seca esta correlacionada con las necesidades de agua.
- Es posible el control de riego mediante las variables climatológicas.

RECOMENDACIONES

- Continuar con el estudio durante todo un año, para cerrar el ciclo meteorológico.
- Continuar con el experimento en condiciones de campo.
- Utilizar suelo más representativo a las condiciones de Zamorano
- Determinar los requerimientos hídricos de todos los cultivos bajo riego.
- Incluir lisímetros sin cobertura vegetal, para aislar el efecto de la evaporación de la transpiración.

BIBLIOGRAFÍA

Díaz, M y Morales, C. 2003. Efecto de la fertilización nitrogenada, edad de corte y altura de corte sobre la producción de los pastos Andropogón (*Andropogon gayanus*), Transvala (*Digitaria erientha*) y Tobiata (*Panicum maximum*) en El Zamorano, Honduras. Tesis Ing. Agrónomo. 19 p.

Doorenbos, J.; Pruitt, W. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje 24 Roma, Italia. 195 p.

García J, 1990 Agrometeorología. Energía y agua en la agricultura. Perú. 174 p.

Khan L; Gil J; Acosta R. 1998. Diseño y funcionamiento de un lisímetro hidráulico para medición de la evapotranspiración potencial. En línea. <http://pegasus.ucla.edu>. Consultado 30 Agosto 2004.

Lara, H. 2002. Efecto de cuatro niveles de nitrógeno, dos de azufre y dos edades de corte en la producción de materia seca de *Panicum maximum* cv. Tobiata. Tesis ing. Agrónomo. 13 p.

Marcucci, J, 1999. Variaciones estacionales en la producción y composición del pasto Guinea (*Panicum maximum*) cv. Tobiata en el Zamorano. Tesis Ing. Agrónomo. Escuela Agrícola Panamericana. Honduras. 16 p.

Paredes, J. 2001. Efecto de tres niveles de fertilización nitrogenada y tres edades de corte sobre la calidad de cuatro gramíneas forrajeras en Zamorano. Tesis ing. Agrónomo. El Zamorano Honduras. 13 p.

Puerto, E 2000. Respuesta del pasto *Panicum maximum* var. Tobiata a cinco niveles de fertilización y cuatro de riego. Tesis Ing. Agrónomo. Escuela Agrícola Panamericana. Honduras. 14 p.

Xingfa, H; V. Vonlaya; D, Zeng. 1999. Design, construction and installation of filled-in drainage Lysimeter and its applications. China Agricultural University, Beijing, China. En línea. <http://www.lib.ksu.edu> Consultado 30 Agosto 2004.