MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Requerimientos hídricos de cuatro gramíneas de corte para uso eficiente del agua en el Caribe seco colombiano

Water requirement of four cutting grasses water efficiency in the Colombian dry Caribbean region

José Murillo Solano[1], Justo A. Barros Henríquez[2], Belisario Roncallo Fandiño[3], Guillermo Arrieta Pico[4]

[1] Ingeniero Agrícola, Especialista en Riego. Corpoica. C.I. Motilonia. Agustín Codazzi, Cesar, Colombia. josemurillosolano@hotmail.com
[2] Ingeniero Agrónomo. MSc. Corpoica. C.I. Motilonia. Agustín Codazzi, Cesar, Colombia. jualbahe@hotmail.com
[3] M.V.Z. MSc. Corpoica. C.I. Motilonia. Agustín Codazzi, Cesar, Colombia. broncallo@corpoica.org.co
[4] Ingeniero Agrónomo, MSc. Corpoica. C.I. Motilonia. Agustín Codazzi, Cesar, Colombia. guillermoarrietapico@yahoo.com

Fecha de recepción: 14/08/2013
Fecha de aceptación: 06/02/2014

ABSTRACT

In the Colombia Caribbean region's low rainfall (600 to 1500 mm) and irregular distribution leads to a drastic reduction in availability of fodder. The project objectives were to determine the water requirements of 4 grasses, evaluate water - production equations and the effect of water deficit on yield. Spray gradient methodology was used on a split plot design with 4 repetitions and 6 treatments for 100, 80, 60, 40, 20 y 0% of the water deficit. In summer season from January to April, the average daily water consumption of grasses purple King grass, green King grass, Elephant and Maralfalfa was 4,7; 4,6; 4,6 y 4,9 mm/day with average K factors 0,68; 0,66; 0,67 y 0,73 respectively. Dry matter productions with indicated water consumptions were higher in 301, 317, 140 and 415% respectively than productions in treatments without irrigation. At maximum rainfall (April - June) the average water requirements of these grasses in the same old order was 4,25; 4,23; 4,22; 4,54 mm/day with average K factors of 0,75; 0,75; 0,74 and 0,81. Yields in dry matter with previous consumptions exceeded 146, 178, 141 y 204% respectively to no irrigation treatments. Under irrigated conditions Maralfalfa is recommended while under rainfed conditions Elephant grass is recommended.

Key words: Gradient, *Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides*, *Pennisetum purpureum*, *Pennisetum* sp., irrigation.

RESUMEN

En la región Caribe colombiana la baja precipitación (600 a 1500 mm) e irregular distribución conllevan a una drástica reducción de la disponibilidad de forrajes y de la producción animal. El objetivo del proyecto fue determinar los requerimientos hídricos de cuatro gramíneas de corte, encontrar las funciones agua-producción y evaluar el efecto del déficit hídrico sobre el rendimiento. Se utilizó la metodología del gradiente en riego por aspersión y diseño de parcelas divididas con 4 repeticiones y 6 tratamientos correspondientes a 100%, 80%, 60%, 40%, 20% y 0% de la lámina de agotamiento. En época de mínima precipitación (febrero - abril), el promedio de consumo diario de agua de las gramíneas king grass morado, king grass verde, elefante y maralfalfa fue en su orden de 4,7; 4,6; 4,6 y 4,9 mm/día, con factores K promedios de 0,70; 0,69; 0,69 y 0,75, respectivamente. Los rendimientos en materia seca con los consumos de agua señalados fueron mayores en 301%, 317%, 166%, 415% respectivamente, en relación con los tratamientos sin riego. En época de máxima precipitación (abril - junio) el promedio de requerimiento hídrico de las gramíneas mencionadas fue de 4,25; 4,23; 4,22; 4,54 mm/día, con factores K promedios de 0,75; 0,75; 0,74 y 0,81. Los rendimientos en materia seca con los consumos anteriores superaron en 146%, 178%, 141% y 204% respectivamente a los tratamientos sin riego. En condiciones de riego es recomendable sembrar maralfalfa y en condiciones de secano, pasto elefante.

Palabras claves: gradiente, *Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides*, *Pennisetum purpureum*, *Pennisetum* sp., riego.

© 2014 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

INTRODUCCIÓN

El agua es un factor de producción que incide en la falta de competitividad de la ganadería del Caribe seco colombiano, por la baja precipitación (600 a 1500 mm) e irregular distribución, lo cual conlleva a una reducción de disponibilidad de forrajes con descensos en la producción de leche y carne y bajo desempeño reproductivo de los hatos. Debido a que no existe información adecuada sobre requerimientos hídricos de los pastos de corte, se incurre en uso irracional del agua con niveles bajos de eficiencia, degradación de suelos y salinización. Además, se ha prestado poco interés al conocimiento de materiales forrajeros más tolerantes a sequías para su producción sin aplicación de riego. Lacki (1996) ha recomendado identificar las ineficiencias tecnológicas con el fin de eliminarlas a través de la investigación y transferencia de tecnologías.

Uno de los pasos imprescindibles para el diseño, instalación y operación de cualquier sistema de riego es la determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos que se programen.

En Colombia la bibliografía actualizada sobre riego en pastos de corte es limitada, y la disponible internacionalmente son investigaciones realizadas en zonas templadas, inadecuadas para su aplicación en el trópico (Camejo y Duarte, 2002; Terán, 2004). No obstante, el ICA realizó evaluaciones de requerimientos hídricos en pastos en el Centro de Investigación Nataima, Tolima, entre 1982 y 1983 (Rojas y Caicedo, 1986) en las cuales se obtuvo la curva de evapotranspiración real con valores promedios de 3,76; 3,54; 3,98; 2,42; 2,34; 4,53; 4,71; 4,11; 3,06; 5,15 y 2,78 mm/día para períodos de crecimiento de 10% del ciclo anual.

El objetivo del presente estudio fue determinar los requerimientos hídricos y factores K de cuatro gramíneas forrajeras, estimar rendimientos según los niveles de evapotranspiración y evaluar la reducción de rendimientos según los déficits hídricos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección del sitio experimental

La investigación se desarrolló en el Centro de Investigación Motilonia, Agustín Codazzi (Cesar), localizada a 10°11' latitud Norte, 73°15' longitud Oeste, altitud de 160 msnm, temperatura media anual de 29 °C, precipitación promedia anual de 1501 mm con distribución bimodal de las lluvias, un período entre mayo y junio y el otro entre agosto y noviembre. Pertenece a la zona agroecológica C_j.

Diseño experimental

Se estableció el experimento con las gramíneas king grass morado (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides*), king grass verde (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides*), elefante (*Pennisetum purpureum*) y maralfalfa (*Pennisetum* sp). Se utilizó el método del gradiente en riego por aspersión con diseño experimental de parcelas divididas y tratamientos no aleatorios. Los genotipos se sembraron en las parcelas con 4 repeticiones y los tratamientos se distribuyeron en las subparcelas. El área del experimento fue de 1209,60 m^2. Cada parcela de 64,26 m^2 (12,6 m x 5,1 m) y cada subparcela de 10,71 m^2 (5,1 mx 2,10 m). Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

T1. Lámina igual al 100% de la lámina de agotamiento, siendo ésta 50% del agua aprovechable en el primer nivel.

T2. Lámina aproximadamente igual a 80% de la lámina de agotamiento.

T3. Lámina aproximadamente igual a 60% de la lámina de agotamiento.

T4. Lámina aproximadamente igual a 40% de la lámina de agotamiento.

T5. Lámina aproximadamente igual a 20% de la lámina de agotamiento.

T6. Sin riego (testigo).

Análisis estadístico

El método de riego por gradiente tiene como característica que los tratamientos no son aleatorios, siendo ésta una limitación para el uso del análisis de varianza; por esta razón en la evaluación de los datos se utilizó análisis de regresión (Rojas, 1984).

Propiedades físicas del suelo

La textura se determinó por el método de boyoucos; la densidad aparente, por la técnica del cilindro de volumen conocido; la capacidad de campo, por el método de

p. 83-99

campo; el punto de marchitez permanente, por el girasol enano; la infiltración, por el método de anillos infiltrómetros. En todos los casos se tomaron tres muestras por horizonte.

Diseño del equipo de riego

Para el diseño y manejo del sistema de riego en gradiente por aspersión, se allegaron informaciones sobre suelo, agua, cultivos, clima, topografía y sistema de riego por aspersión: Se diseñó el equipo de riego utilizando el modelo matemático de Hazen - Williams (García y Briones, 1997) y las experiencias de investigaciones en riego por gradiente en cultivos de algodón (Murillo, 2002), donde se obtuvieron resultados satisfactorios con tubos de 3", aspersores con boquillas de 4 x 2 mm, operados a una presión de 45 PSI. Luego del diseño, el equipo de riego quedó conformado así:

Equipo de riego	Briggs Strator IHM
Aspersores	Naan
Presión bomba	16 HP
Presión aspersores	40 psi
Caudal por aspersores	0,50 L/s
Boquillas	4 x 2 mm
Radio húmedo	10,5 m
Diámetro tubería	3"
Altura elevadores	2,40 m

Evaluación del equipo de riego

La evaluación del equipo de riego consistió en verificar la aplicación lineal del agua, para lo cual se hicieron pruebas de funcionamiento del sistema, repitiendo cada prueba 4 veces y tomando el promedio de lámina aplicada de las 4 repeticiones. Se graficó la distancia de los pluviómetros (recipientes de ¼ de galón) a la línea de aspersores contra agua aplicada y se corroboró su tendencia lineal (Rojas, 1984).

Programación de riego y medición de láminas de agua

Los riegos se aplicaron cuando el porcentaje de agotamiento fue de 50% del agua aprovechable en el primer nivel. Se calcularon las láminas netas y brutas, las frecuencias de riego y el tiempo de riego. Las láminas de agua se midieron con pluviómetros colocados en el centro de las subparcelas.

Registro diario de informaciones meteorológicas, humedad del suelo y evaluaciones agronómicas periódicas

Se tomaron diariamente los valores de precipitación, evaporación, temperatura, viento y humedad relativa de la estación meteorológica ubicada en Motilonia el Centro de Investigación. Diariamente se tomaron 2 valores de humedades en el suelo en cada subparcela, utilizando el método gravimétrico. Cada 10 días se midió la profundidad de las raíces y al final de cada ciclo se cosechó el surco central de cada subparcela para medir los rendimientos en materia seca.

Cálculo de la evapotranspiración diaria y coeficientes k

Diariamente se calculó la evapotranspiración de los materiales evaluados en cada subparcela mediante el método del balance hídrico, utilizando la ecuación:

$$ET = R + Pe + \Delta H \text{ (Rojas, 1996)}$$

Donde:

ET = evapotranspiración en mm
R = lámina de riego en mm
Pe = precipitación efectiva en mm
ΔH = diferencia entre la humedad de un día y el anterior

Los factores k se calcularon usando la relación:

$$k = ET/EV \text{ (Almanza, 1996)}$$

Donde:

ET = evapotranspiración en mm
EV = evaporación del tanque tipo A en mm

Ecuaciones agua – producción

Los promedios de rendimientos obtenidos y las evapotranspiraciones calculadas de cada gramínea de corte en los niveles de humedad se ajustaron a ecuaciones mediante regresión con el propósito de describir las funciones agua - rendimiento.

p. 83-99

© 2014 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Efecto del déficit hídrico sobre el rendimiento

Se utilizó la ecuación del factor del efecto sobre el rendimiento:

$$Ky = (1 - R/Rm) / (1 - ET/Etm)$$

(Doorenbos y Kassan, 1980).

Las pendientes de las ecuaciones obtenidas mediante regresiones entre los porcentajes de reducción de rendimiento y los porcentajes de déficits de evapotranspiración de los genotipos calculadas con las expresiones (1 - *R*/*Rm*) y (1 - *ET*/*Etm*), respectivamente, determinan los valores del factor del efecto sobre el rendimiento *Ky*. Las funciones de regresión indican que por cada unidad de déficit de evapotranspiración ocurre una reducción de rendimiento igual a la pendiente de la ecuación. Se infiere que la de menor pendiente (*Ky*) corresponde a la gramínea más tolerante a la sequía.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas del suelo

El suelo presentó una textura franco-arenosa en los perfiles estudiados (tabla 1). Por tratarse de suelos con esta textura, el horizonte de 0 - 30 cm no presenta restricciones en la densidad aparente; el valor promedio de infiltración de 14,8 mm/h se cataloga como moderadamente lento. La retención de humedad del horizonte de 0 - 30 cm se clasifica como moderada, y la presente en el horizonte de 30 - 60 cm se considera baja.

Tabla 1. Propiedades físicas del suelo

Profundidad (cm)	Textura	Densidad aparente (g/cm³)	Infiltración (mm/hora)	Retención de humedad (mm/cm)
0 - 30	Franco arenosa	1,78	14,8	1,24
30 - 60	Franco arenosa	1,83		0,76

Agua

La fuente de agua se localizó contigua al sitio experimental proveniente de un pozo profundo de 30 L/s. Su calidad química resultó buena según muestra enviada al laboratorio del Centro de Investigación Motilonia. No se encontraron problemas de nivel freático en calicatas de 1 m de profundidad en épocas de máxima precipitación.

Clima

El clima es el principal factor que incide en los requerimientos hídricos de los cultivos. De acuerdo con la clasificación de Holdridge y datos de la tabla 2, el área en estudio corresponde a clima bosque seco tropical. El promedio de precipitación anual es de 1501 mm con dos períodos secos y dos lluviosos. El primer período seco corresponde a los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y principios de abril y el segundo a finales de junio, julio y principios de agosto. Los dos períodos lluviosos, el primero a finales de abril, mayo y principios de junio y el segundo a finales de agosto, septiembre, octubre y noviembre. La temperatura media anual se mantiene constante aproximadamente en 29 °C, con fluctuaciones de sólo 3 °C. Los valores de humedad relativa están entre 59% y 78%, los cuales presentan relación con las temperaturas altas y los vientos que causan alta evaporación; así se observa que los meses de menor humedad relativa son los de mayor temperatura, vientos más fuertes y mayor evaporación.

Evaluación del equipo de riego

En la tabla 3 se presenta los resultados obtenidos en la evaluación del equipo de riego para hallar un patrón de distribución de agua que generó las láminas requeridas para el gradiente de humedad del experimento de gramíneas. En la figura 1 se muestra el resultado de la evaluación del equipo del experimento, satisfactoriamente lineal decreciente a medida que aumenta la distancia a la línea de aspersores con una función de regresión: Y = 8,99 – 0,74X, y un coeficiente de determinación significativo (0,97).

El patrón de aplicación de agua se obtuvo en el experimento con las siguientes condiciones de operación:

Número de pruebas	4
Duración cada prueba	3/4 hora
Caudal de cada aspersor	0,5 L/s
Velocidad viento	2,6 km/hora

Este patrón fue mantenido en los riegos que se aplicaron durante el experimento, tratando de hacerlos en las primeras horas de la mañana cuando las condiciones del viento fueron favorables, es decir, menos de 3 km/hora.

p. 83-99

Tabla 2. Promedio parámetros meteorológicos de la estación Motilonia 1987 - 2007

Factores climáticos					
Mes	**Precipitación (mm)**	**Temperatura media (°C)**	**Humedad relativa (%)**	**Evaporación (mm)**	**Vientos (m/s)**
Enero	14	28,5	61	188	2,01
Febrero	39	30,2	59	193	2,21
Marzo	66	30,4	63	183	2,04
Abril	141	29,4	70	162	1,65
Mayo	212	28,6	78	149	1,38
Junio	143	28,6	76	136	1,36
Julio	97	29,2	72	155	1,62
Agosto	152	28,9	74	156	1,44
Septiembre	158	28,0	78	142	1,48
Octubre	243	27,5	78	131	1,49
Noviembre	169	27,8	75	129	1,48
Diciembre	67	28,3	67	149	1,86

Tabla 3. Prueba de evaluación del equipo de riego de las gramíneas

Distancia a la línea de aspersores (m)	**Agua aplicada (mm)**				**Promedio (mm)**
	Repeticiones				
	1	**2**	**3**	**4**	
1,05	7,6	8,2	8,3	8,1	8,05
3,15	5,9	5,7	7,4	6,7	6,4
5,25	5,4	5,6	6,0	5,5	5,6
7,35	3,2	4,2	4,4	3,8	3,9
9,45	2,3	1,4	1,3	1,8	1,5

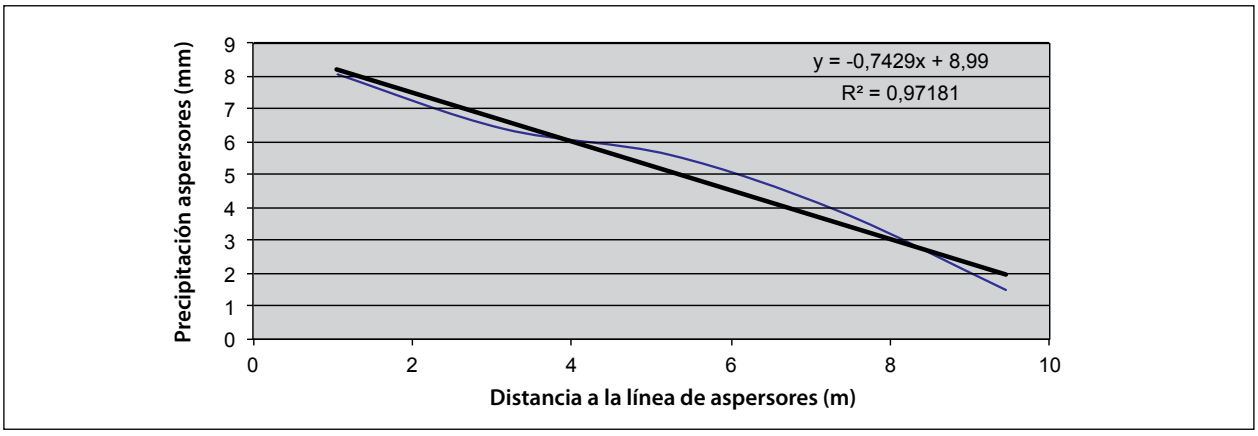

Figura 1. Evaluación del equipo de riego

© 2014 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

p. 83-99

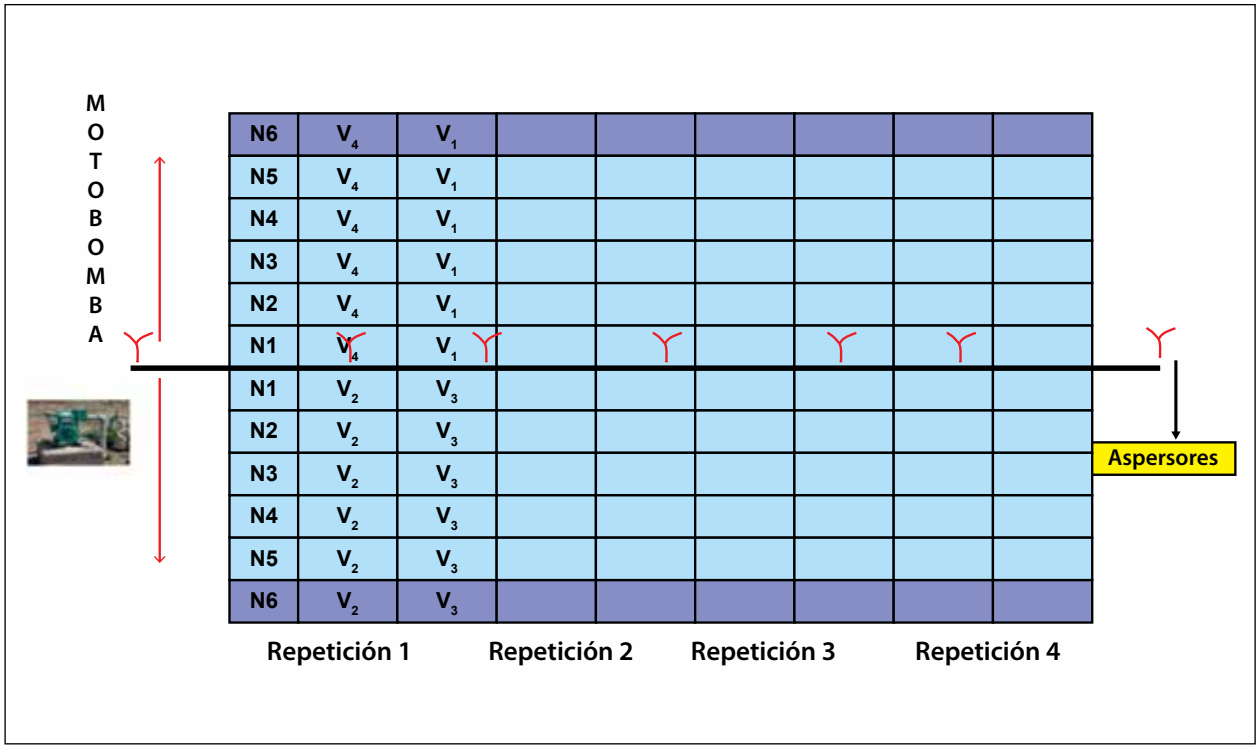

Figura 2. Método del gradiente de humedad en riego por aspersión

Diseño estadístico del experimento de gramíneas

La figura 2 muestra el esquema del experimento con las gramíneas de corte distribuidas al azar en los bloques y los niveles de humedad N1, N2, N3, N4, N5 y N6.

Evapotranspiración real y factores K de gramíneas en establecimiento

Las fechas de germinación y primer corte de las gramíneas en el ciclo de establecimiento estuvieron comprendidas entre el 04 de agosto y el 19 de noviembre de 2008.

En un experimento de gradiente, la evapotranspiración en el primer nivel suple las necesidades hídricas del cultivo ya que corresponde básicamente a la evapotranspiración en condiciones estándar (Allen *et al*., 2006). En este nivel la humedad del suelo varía entre la capacidad de campo y 50% del agua aprovechable, o sea que hay suministro óptimo de agua. Los otros niveles son sometidos a estrés hídrico. Por lo tanto, en todos los ciclos de este experimento los requerimientos hídricos de las gramíneas fueron calculados en el primer nivel.

El ciclo de establecimiento de las gramíneas correspondió con la temporada de lluvias del segundo semestre del 2008, de agosto a noviembre, cuando la precipitación estuvo atípicamente bien distribuida de manera que no hubo necesidad de suministrar riego y por consiguiente no se presentó gradiente. Los tratamientos fueron uniformes.

En la tabla 4 se presentan los requerimientos hídricos del primer ciclo de las gramíneas y los respectivos factores K. Se observó que el consumo total de agua de las gramíneas king grass morado, king grass verde, elefante y maralfalfa fueron de 389,2; 328,3; 372,0 y 440,0 mm, respectivamente, los cuales respecto a la distribución del requerimiento hídrico en las distintas fases de desarrollo, muestran la misma tendencia de presentar valores bajos al inicio de la etapa de crecimiento, valores altos durante la fase de máximo crecimiento y disminución al final de la época de crecimiento (figura 3). La evapotranspiración mínima y máxima diaria de la maralfalfa fue de 6,2 y 1,7 mm/día, la de king grass morado fue de 5,4 y 2,1 mm/día, la de king grass verde de 4,8 y 1,6 mm/día y la de elefante 5,2 y 1,8 mm/día. La temporada agosto–noviembre fue la de menor temperatura media, menor evaporación y menor velocidad del viento como, se observa en la tabla 2; además, hay que anotar que las raíces de los pastos durante el establecimiento están en desarrollo y, por lo tanto, los consumos de agua son en general menores que en los otros ciclos.

p. 83-99

Tabla 4. Evapotranspiración y factores K de las gramíneas

Período semana	King grass morado		King grass verde		Elefante		Maralfalfa	
	ET mm/día	K	ET mm/día	K	ET mm/día	K	ET mm/día	K
1 - 7	2,1	0,50	1,6	0,38	1,8	0,43	1,7	0,55
8 - 14	2,3	0,53	1,9	0,44	1,9	0,44	2,5	0,58
15 - 21	2,5	0,53	2,2	0,47	2	0,42	2,8	0,59
22 - 28	2,9	0,90	2,6	0,81	2,3	0,72	3,2	1,00
29 - 35	3,1	0,66	2,7	0,57	2,7	0,57	3,4	0,72
36 - 42	3,3	0,64	3	0,58	2,9	0,56	3,6	0,70
43 - 49	3,7	0,88	3,5	0,84	3,2	0,76	3,8	0,91
50 - 56	4,0	1,04	3,7	0,97	3,4	0,89	4,1	1,07
57 - 63	4,1	0,91	4	0,89	3,7	0,82	4,7	1,04
64 - 70	4,6	0,87	4,2	0,92	4,1	0,89	5,5	1,20
71 - 77	5,4	1,48	4,8	1,32	5,2	1,43	6,2	1,40
78 - 84	5,1	1,02	4,6	0,92	5	1,00	5,7	1,14
85 - 91	4,9	1,12	4,4	1,01	4,8	1,10	5,2	1,19
92 - 98	4,1	0,93			4,7	1,07	4,5	1,02
99 - 105	3,5	0,68			4,3	0,84	4,2	0,83
106 - 107					4	0,85	4,1	0,86
Total mm	389,2		328,3		372		440,1	

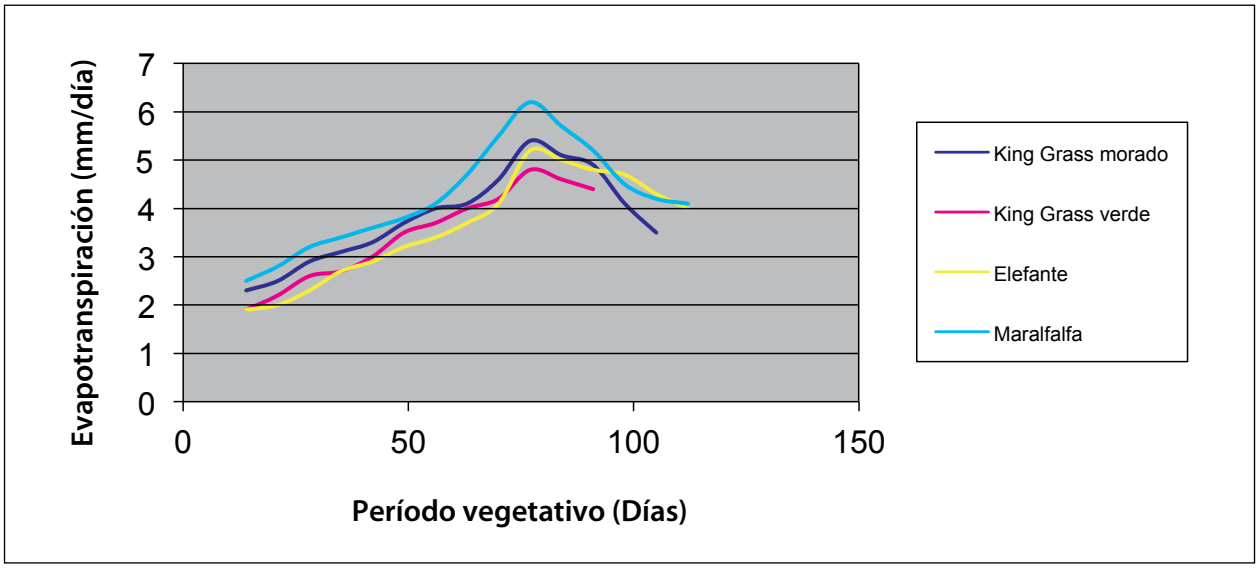

Figura 3. Curvas de evapotranspiración de las gramíneas

© 2014 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Los requerimientos hídricos expresados en factores K en el ciclo de establecimiento de las gramíneas king grass morado, king grass verde, elefante y maralfalfa son en promedio 0,85; 0,78; 0,80; 0,93 con valores mínimos de 0,5; 0,38; 0,43; 0,55 y valores máximos de 1,48; 1,32; 1,43; 1,40 respectivamente. Los factores K permiten ajustar la evapotranspiración de los materiales evaluados a las condiciones climáticas de las diferentes zonas agroecológicas relacionando estos coeficientes con la evaporación del tanque clase A de la localidad donde se va a hacer la extrapolación, mediante la expresión:

$$ET = K \times Ev$$

Donde:

ET = evapotranspiración en mm

Ev = evaporación del tanque tipo A en mm

En un estudio realizado por Herrera *et al*. (2010), en la estación central de pastos "Niña Bonita" de Cuba en un cultivo de king grass en diferentes épocas del año y edad de la planta, determinaron que los consumos diarios de agua variaron entre 1,5 y 5,0 mm/día y los factores K entre 0,13 y 0,97. Estos valores son menores a los obtenidos en el presente experimento, lo que es consecuente si tenemos en cuenta que la temperatura media de la zona de Niña Bonita es 25,9 °C, la cual es inferior a la registrada en la zona de ubicación de Motilonia (29 °C).

Hay que resaltar que la evapotranspiración de los cultivos de las diferentes zonas no son comparables si no se tienen en cuenta los distintos factores que la determinan, como son los aspectos climáticos, suelos, especies, duración del ciclo vegetativo, edad del cultivo, época del año. Incluso, el consumo hídrico de un cultivo en el mismo sitio tiene variaciones importantes en diferentes épocas del año.

Evapotranspiración y factores K de gramíneas segundo ciclo

El primer y el segundo corte se realizaron entre el 18 de noviembre de 2008 y el 28 de enero de 2009. En este ciclo se aplicaron 6 riegos con láminas promedio de 33,4; 23,6; 18,6; 11,1; 7,1 y 0 mm en los niveles del 1 al 6 respectivamente. La precipitación efectiva en el primer nivel fue de 102 mm. En la tabla 5 se presentan los requerimientos hídricos de las gramíneas en la cual se observa que el consumo total de agua de los materiales king grass morado, king grass verde, elefante y maralfalfa fueron 284,9; 280,7; 282,1 y 303,1 mm, respectivamente. La figura 4 muestra las variaciones de las gramíneas de corte en sus fases vegetativas.

En los materiales estudiados se observa poca diferencia en cuanto al consumo total, excepto la maralfalfa, que supera a las otras gramíneas en 20 mm, lo cual equivale aproximadamente a un riego en suelos arenosos. Esta diferencia se puede atribuir a la mayor biomasa producida por la maralfalfa. En el primer ciclo no se observó esa similitud porque los períodos vegetativos no coincidieron (tabla 4). El mínimo y máximo diario de evapotranspiración obtenido por las gramíneas king grass morado, king grass verde, elefante y maralfalfa fue en su orden 2,2 y 5,2; 2,3 y 5,4; 2,1 y 5,3; 2,4 y 5,5 mm/día. Los factores k promedios para este ciclo fueron 0,80; 0,80; 0,81 y 0,86 para king grass morado, king grass verde, elefante y maralfalfa, respectivamente presentando como mínimo y máximo 0,59 y 1,02; 0,57 y 1,00; 0,57 y 1,07; 0,67 y 1,09, respectivamente.

Doorembos y Pruitts (1976) reportan evapotranspiraciones de pastos mediante coeficientes de cultivo Kc con valores que fluctúan entre 0,5 y 1,25 con promedios de 1,0. Los investigadores suelen presentar los consumos hídricos en términos de coeficiente de cultivo = Kc. Sin embargo, existen las siguientes equivalencias:

Kc = Kt x K

Kt = coeficiente del tanque de evaporación clase A

Kt = 0,80; este valor es recomendado para regiones tropicales donde predominen alta humedad relativa y baja velocidad del viento (FAO, 1977) como es el caso de Codazzi, Cesar. Entonces:
Kc = 0,8 x K o también K = Kc/0,80.

De acuerdo con lo anterior, valores de Kc 0,5 y 1,25 y promedio de 1,0 equivalen en términos de K a 0,63 y 1,56 y promedio 1,25; valores de k más altos que los obtenidos en el presente experimento, lo cual es atribuido a que los reportados por Doorembos son resultados de investigaciones realizadas en Europa, en ambientes templados, donde las temperaturas y evaporaciones son muy inferiores a los trópicos durante gran parte del año.

p. 83-99

Tabla 5. Evapotranspiración y factores K de las gramíneas del primero al segundo corte, C. I. Motilonia, 2008 - 2009

Período semana	King grass morado		King grass verde		Elefante		Maralfalfa	
	ET mm/día	K	ET mm/día	K	ET mm/día	K	ET mm/día	K
1 - 7	2,2	0,59	2,3	0,62	2,1	0,57	2,4	0,70
8 - 14	2,6	0,62	2,4	0,57	2,7	0,64	2,8	0,67
15 - 21	3,8	0,86	3,5	0,80	3,6	0,82	4,2	0,95
22 - 28	4,7	1,02	4,6	1,00	4,9	1,07	5	1,09
29 - 35	5,0	1,00	4,8	0,96	5,1	1,02	5,3	1,06
36 - 42	5,2	0,95	5,1	0,93	5,3	0,96	5,5	1,00
43 - 49	5,0	0,88	4,9	0,95	5,0	0,88	5,1	0,89
50 - 56	4,3	0,70	4,6	0,82	4,7	0,77	4,9	0,80
57 - 63	4,1	0,64	4,1	0,66	3,8	0,70	4,3	0,72
64 - 70	3,8	0,70	3,9	0,65	3,1	0,70	3,6	0,71
Total mm	284,9		280,7		282,1		303,1	

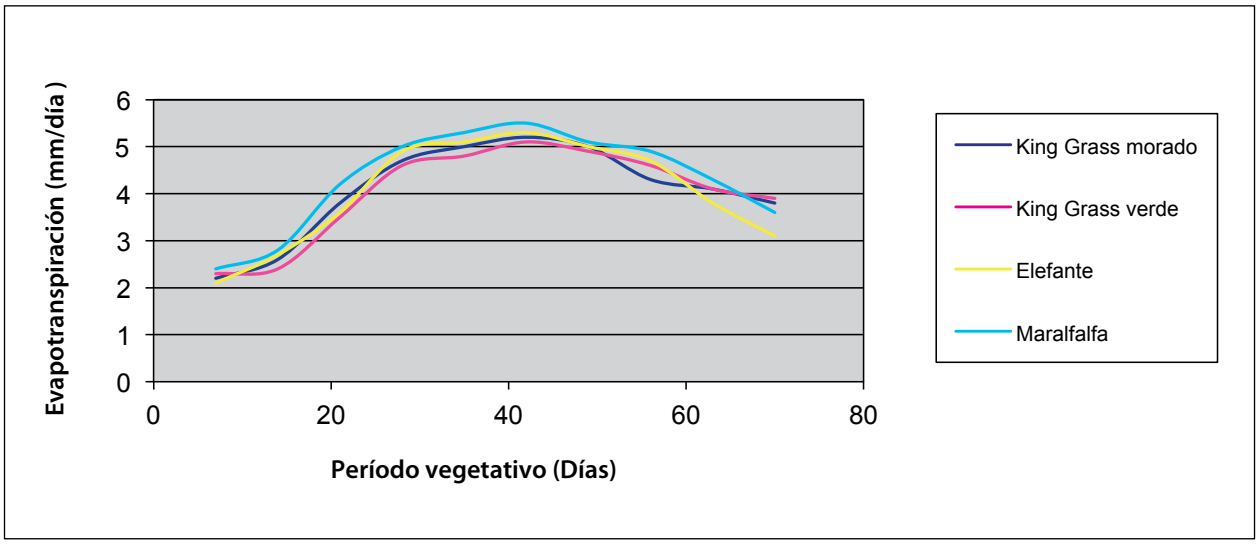

Figura 4. Curva de evapotranspiración de las gramíneas

Funciones agua – rendimiento de las gramíneas en el segundo ciclo

En la tabla 6 se presentan los rendimientos de las gramíneas en cuanto a materia seca, obtenidos en campo en los diferentes niveles de humedad para cada material en el segundo ciclo. Se observó que en el verano de fin de año y principios del siguiente, el rendimiento con riego de la gramínea king grass duplica la producción del tratamiento sin riego, maralfalfa la triplica y elefante es 135% superior. Las producciones obtenidas por Bajuk *et al*., (2004) con la aplicación de riego por ciclo de pasto llorón triplica la producción de materia seca en comparación con el cultivo sin riego.

En el centro de investigación Motilonia, Roncallo *et al*. (2012) obtuvieron, sin riego, con king grass morado, king grass verde, elefante y maralfalfa producciones de

© 2014 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

materia seca de 8,5; 9,1; 12,2 y 11,2 ton/ ha, respectivamente siendo similar a las obtenidas en el tratamiento sin riego del presente experimento.

Realizadas las regresiones con los datos de la tabla 6 en king grass morado, king grass verde, elefante y maralfalfa, se obtuvieron las siguientes ecuaciones respectivamente:

$R = 0{,}157\ ET^2 - 9{,}8\ ET + 7978$

$R = -0{,}055\ ET^2 + 82{,}5\ ET + 722$

$R = 0{,}003\ ET^2 + 20{,}3\ ET + 10810$

$R = -0{,}089\ ET^2 + 120\ ET - 3320$

Donde:

R = rendimiento (kg/ha)
ET = evapotranspiración (mm)

Los coeficientes de determinación obtenidos fueron en su orden 0,97; 0,99; 0,98 y 0,99; los cuales son altamente significativos ($P \leq 0{,}001$) (Little y Hills, 1989).

Las ecuaciones de tipo cuadrático fueron las que mejor se ajustaron a los datos obtenidos en el campo; por lo tanto, en el presente experimento la relación entre la evapotranspiración y los rendimientos en materia seca de las gramíneas en estudio tuvieron una relación cuadrática. Estas funciones son útiles para predecir el rendimiento con el agua disponible y así minimizar los riesgos de las inversiones. Doorembos y Kazan (1986) sugieren que la relación entre el rendimiento y la evapotranspiración es lineal siempre y cuando el déficit hídrico no sea mayor de 50%, aproximadamente.

En la tabla 6 se observa que la evapotranspiración en los niveles 5 y 6 es mayor de 50% de la evapotranspiración en el primer nivel, lo que determina que la relación agua-rendimiento sea diferente a la lineal.

Tabla 6. Evapotranspiración (ET) real y rendimientos (R) de gramíneas ciclo primero al segundo corte. Motilonia, 2008 - 2009

Nivel	King grass morado		King grass verde		Elefante		Maralfalfa	
	ET (mm)	R kg MS/ha	ET (mm)	R kg MS/ha	ET (mm)	R kg MS/ha	ET (mm)	R kg MS/ha
1	285	17572	281	19339	282	17052	303	24618
2	242	15259	240	17337	246	15514	259	21648
3	209	13950	207	16194	215	15357	228	20800
4	174	9790	186	13925	165	14388	183	15892
5	137	9461	134	10120	144	13949	148	10938
6	86	8584	85	7649	94	12610	93	7760

Evapotranspiración y factores K de gramíneas en el tercer ciclo

El segundo y el tercer corte se realizaron entre el 28 de enero y el 7 de abril de 2009; en este lapso se aplicaron 8 riegos con láminas promedios de 35,6; 25,3; 19,5; 13,8; 9,6 y 0 mm. La lluvia efectiva fue 61 mm en el primer nivel.

En la tabla 7 se presentan los requerimientos hídricos de las gramíneas en la continuación del verano, donde se observa que el consumo de agua de king grass morado, king grass verde, elefante y maralfalfa son de 327, 323, 322 y 342 mm, respectivamente. El mínimo y máximo diario de evapotranspiración obtenido por la Maralfalfa fue de 3,72 y 6,21 mm/día. Las gramíneas king grass morado, king grass verde y elefante consumieron 3,38 y 6,08; 3,61 y 6,10; 3,49 y 5,89 mm/día, respectivamente. El promedio de factores K para este ciclo fue 0,70; 0,69; 0,69 y 0,75 para king grass morado, king grass verde, elefante y maralfalfa, respectivamente presentando como mínimo y máximo 0,56 y 0,89; 0,58 y 0,89; 0,62 y 0,85; 0,62 y 0,91, respectivamente.

En este tercer ciclo se observó la misma tendencia que en los anteriores, en cuanto a la distribución del requerimiento hídrico en las fases de desarrollo de los materiales forrajeros (figura 5), excepto la maralfalfa que superó en

p. 83-99

requerimiento hídrico a los otros materiales, tanto en éste como en el segundo ciclo.

En este tercer ciclo, se presentó un notable incremento del consumo total de agua en todas las gramíneas, debido principalmente a las diferencias climáticas entre los dos ciclos, que son los factores que más afectan la evapotranspiración de los cultivos. En la temporada de enero a abril se presentaron mayores temperatura, velocidad del viento y evaporación, y menor humedad relativa comparados con los de noviembre a enero (tabla 2), que inducen a mayor evapotranspiración (Israelsen y Hansen, 1965).

Tabla 7. Evapotranspiración y factores K de las gramíneas del segundo al tercer corte. C.I. Motilonia, 2009

Período semana	King grass morado		King grass verde		Elefante		Maralfalfa	
	ET mm/día	K	ET mm/día	K	ET mm/día	K	ET mm/día	K
1 - 7	3,38	0,56	3,61	0,60	3,49	0,62	3,72	0,62
8 - 14	4,52	0,61	4,34	0,58	4,62	0,79	4,69	0,63
15 - 21	4,84	0,73	4,91	0,75	5,2	0,74	5,34	0,81
22 - 28	5,52	0,73	5,58	0,74	5,61	0,85	5,6	0,85
29 - 35	5,74	0,89	6,1	0,89	5,89	0,76	5,96	0,91
36 - 42	6,08	0,79	5,91	0,77	5,83	0,68	6,21	0,85
43 - 49	4,92	0,68	4,72	0,65	4,95	0,66	5,22	0,72
50 - 56	4,4	0,76	4,1	0,71	3,8	0,54	4,6	0,80
57 - 63	3,74	0,57	3,5	0,53	3,56	0.43	3,9	0,59
64 - 70	3,51	0,45	3,4	0,42	3,2	0,58	3,8	0,48
Total mm	327		323		322		342	

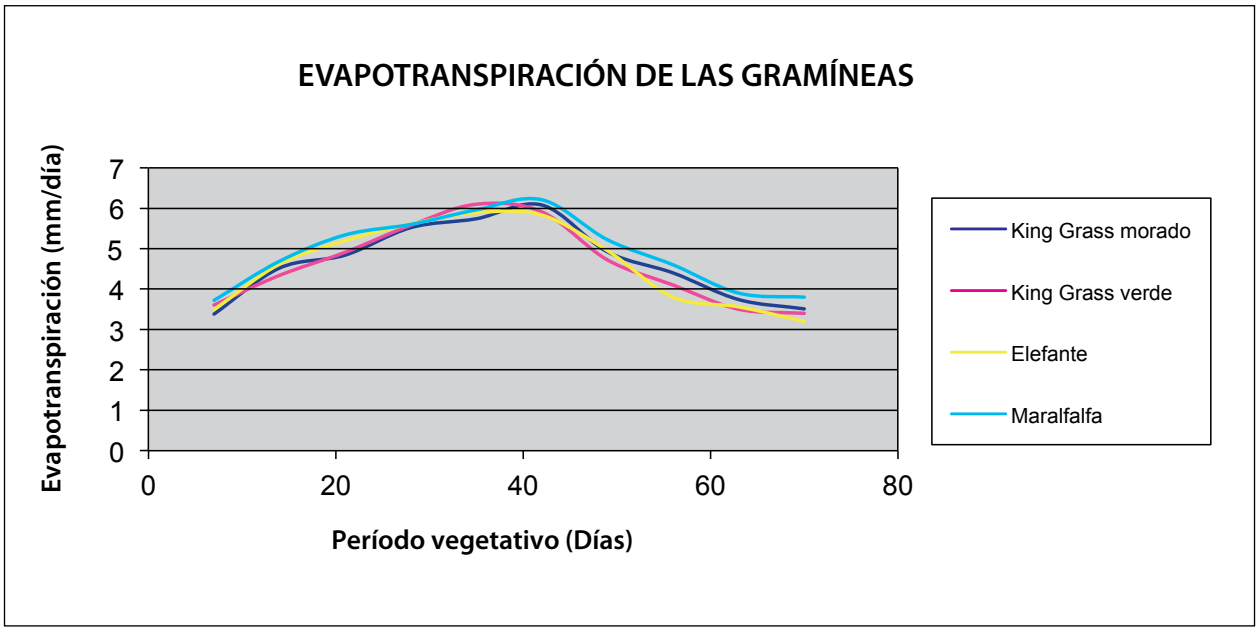

Figura 5. Curva de evapotranspiración de las gramíneas

p. 83-99

© 2014 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Funciones agua-rendimiento de gramíneas en el tercer ciclo

En la tabla 8 presentan los rendimientos de materia seca de las gramíneas obtenidos en campo en los diferentes niveles de humedad para cada gramínea en el ciclo del segundo al tercer corte.

De las regresiones realizadas basadas en los datos registrados en la tabla 8 para los materiales king grass morado, king grass verde, elefante y maralfalfa, se obtuvieron las siguientes ecuaciones:

$R = 0{,}006\ ET^2 + 47{,}7\ ET + 2448$

$R = -0{,}085\ ET^2 + 89\ ET + 558$

$R = 0{,}03\ ET^2 + 8\ ET + 11870$

$R = -0{,}185\ ET^2 + 144\ ET - 2518$

Donde:

R = rendimiento (kg/ha) y ET = evapotranspiración (mm)

Los coeficientes de determinación fueron altamente significativos en su orden 0,98; 0,98; 0,99 y 0,99 ($P \leq 0{,}001$).

Las ecuaciones obtenidas en el tercer ciclo y en el anterior presentan diferencias debido a que cambia el comportamiento de la evapotranspiración y del rendimiento como consecuencia de que fueron desarrolladas en temporadas diferentes con variaciones importantes en las condiciones climáticas. En la tabla 8 se observó que la evapotranspiración de los niveles 4, 5 y 6 superan en más de 50% la evapotranspiración en el primer nivel y por tal razón se obtuvieron funciones cuadráticas, como en el ciclo anterior.

Tabla 8. Evapotranspiración real (ET) y rendimientos (R) de las gramíneas del segundo al tercer corte. C.I. Motilonia, 2009

Nivel	King grass morado		King grass verde		Elefante		Maralfalfa	
	ET (mm)	R kg MS/ha	ET (mm)	R kg MS/ha	ET (mm)	R kg MS/ha	ET (mm)	R kg MS/ha
1	327	18110	323	20055	322	17559	342	25238
2	248	15943	246	17954	243	15907	262	21861
3	207	13334	203	15959	204	14808	210	20072
4	162	8803	161	12420	156	13642	165	16725
5	123	7915	118	8383	113	13140	126	12029
6	61	6001	59	6312	58	10522	64	6068

Evapotranspiración y factores K de gramíneas en el cuarto ciclo

El tercero y el cuarto corte se realizaron entre el 7 de abril a 16 de junio de 2009. Este ciclo coincidió con el período de lluvias del primer semestre, cuyas precipitaciones son menores que las del segundo semestre. Durante este período se aplicaron 5 riegos con láminas promedio de 36,1; 26,7; 18,2; 13; 9,1 y 0 mm y precipitación efectiva en el nivel 1 de 140 mm. De acuerdo con la tabla 9, los requerimientos hídricos de king grass morado, king grass verde, elefante y maralfalfa son en su orden de 297,5; 296,1; 295,4 y 317,8 mm, consumos menores que los del tercer ciclo, ya que los factores climáticos decrecieron (tabla 2). El consumo máximo de las gramíneas king grass morado, king grass verde, elefante y maralfalfa fue de 5,3; 5,4 y 5,3 y 5,9 mm/día y mínimo 3,8; 3,7; 3,7 y 3,9, respectivamente (figura 6). Los factores k promedios para este ciclo fueron 0,75; 0,75; 0,74 y 0,80 para los genotipos king grass morado, king grass verde, elefante y maralfalfa, respectivamente presentando como mínimo y máximo 0,49 y 1,06; 0,48 y 1,08; 0,48 y 1,06; 0,50 y 1,18, respectivamente.

p. 83-99

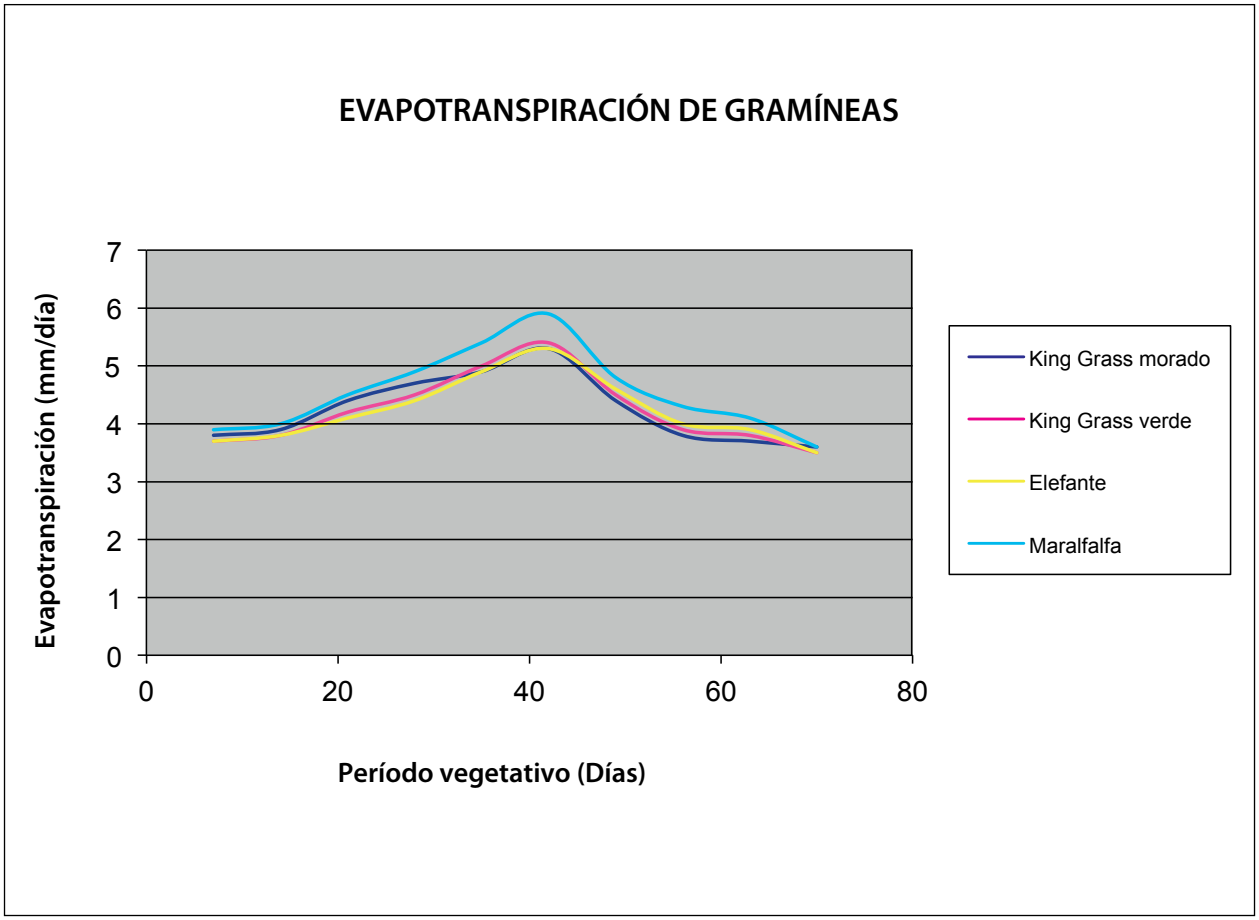

Figura 6. Curva de evapotranspiración de gramíneas

El ICA realizó evaluaciones de requerimientos hídricos en pastos en el Centro de Investigación Nataima (Espinal, Tolima) entre 1982 y 1983 (Rojas, 1986; Rojas y Caicedo, 1986), en las cuales se obtuvo la curva de evapotranspiración real con valores promedios de 3,76; 3,54; 3,98; 2,42; 2,34; 4,53; 4,71; 4,11; 3,06; 5,15; 2,78 mm/día para períodos de crecimiento de 10% del ciclo anual y promedio total 3,67 mm/día.

Teniendo en cuenta el promedio de los resultados de ET real obtenidos en Motilonia cada 4 semanas (tablas 4, 5, 7 y 9), que corresponden aproximadamente a 10% del ciclo total de agosto de 2008 a junio de 2009 de las gramíneas, se obtiene:

ET king grass verde: 2,45; 3,53; 4,82; 2,77; 4,68; 4,3; 4,57; 5,29; 3,74; 4,83; 3,88 mm/día; con promedio total 4,08 mm/día.
ET king grass morado: 2,8; 3,23; 4,5; 2,35; 4,5; 4,38; 4,61; 5,21; 3,6; 4,78; 3,93 mm/día; con promedio total 3,99 mm/día.
ET elefante: 2; 3,5; 4,76; 3,28; 4,73; 4,15; 5,12; 5,12; 3,57; 4,68; 4 mm/día; con promedio total 4,07 mm/día.
ET maralfalfa: 2,83; 3,73; 5,42; 3,38; 5; 4,48; 5,5; 5,5; 3,9; 5,18; 4,2 mm/día con promedio total 4,50 mm/día.

Los resultados anteriores son concordantes con los obtenidos en Nataima, lo que es explicable teniendo en cuenta que las condiciones climáticas de las dos localidades Nataima y Motilonia tienen similitud. Los promedios totales de las gramíneas king grass verde (4,08 mm/día), king grass morado (3,99 mm/día), elefante (4,07 mm/día) guardan similitud con el promedio total obtenido en Nataima (3,67 mm/día), ya que las diferencias son menores de 10%.

Los datos obtenidos en Motilonia (durante la segunda, tercera y cuarta fase que corresponden a las fases de riego, fertilización y generación de un modelo de producción de forraje, entre 2009 y 2011) se sometieron a ajuste tecnológico con resultados satisfactorios.

p. 83-99

© 2014 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Tabla 9. Evapotranspiración y factores K de gramíneas

Período semana	King grass morado		King grass verde		Elefante		Maralfalfa	
	ET mm/día	K	ET mm/día	K	ET mm/día	K	ET mm/día	K
1 - 7	3,8	0,49	3,7	0,48	3,7	0,48	3,9	0,50
8 - 14	3,9	0,67	3,8	0,65	3,8	0,65	4	0,68
15 - 21	4,4	0,66	4,2	0,63	4,1	0,62	4,5	0,68
22 - 28	4,7	0,94	4,5	0,90	4,4	0,88	4,9	0,98
29 - 35	4,9	0,91	5	0,93	4,9	0,91	5,4	1,01
36 - 42	5,3	1,06	5,4	1,08	5,3	1,06	5,9	1,18
43 - 49	4,4	0,88	4,5	0,90	4,6	0,92	4,8	0,96
50 - 56	3,8	0,61	3,9	0,63	4	0,64	4,3	0,69
57 - 63	3,7	0,70	3,8	0,72	3,9	0,74	4,1	0,78
64 - 70	3,6	0,60	3,5	0,58	3,5	0,58	3,6	0,60
Total mm	297,5		296,1		295,4		317,8	

Relación agua-rendimiento de las gramíneas en el cuarto ciclo

En la tabla 10 se presentan los rendimientos de materia seca de las gramíneas, obtenidos en campo a diferentes grados de humedad para cada genotipo, en el cuarto ciclo. En la época de lluvias del primer semestre, se observó que el rendimiento con riego de las gramíneas fue mayor que las producciones del tratamiento sin riego, así: king grass verde 144%, king grass morado 149%, elefante 126% y maralfalfa 100%.

Las regresiones realizadas con los datos registrados en la tabla 8 para los materiales king grass morado, king grass verde, elefante y maralfalfa arrojaron las siguientes ecuaciones:

$$R = 43,9\ ET + 7947$$

$$R = 44,8\ ET + 4489$$

$$R = 43,7\ ET + 9818$$

$$R = 94,7\ ET - 1188$$

Donde:

R = rendimiento (kg/ha)
ET = evapotranspiración (mm)

Los coeficientes de determinación fueron significativos, siendo en su orden de 0,97; 0,88; 0,97 y 0,98; con nivel de significancia de 5% ($P \leq 0,05$) para king grass morado y de 1% ($P \leq 0,001$) para las otras gramíneas.

Las ecuaciones lineales fueron las que mejor se ajustaron a los datos obtenidos en el campo; por lo tanto, en este ciclo la relación entre la evapotranspiración y los rendimientos en materia seca de las gramíneas en estudio tuvieron una relación lineal que de acuerdo con Doorenbos y Kazan (1986) ocurre cuando el déficit hídrico no es mayor de 50% aproximadamente. Las ecuaciones anteriores indican que por cada mm de incremento en evapotranspiración, el rendimiento de las gramíneas en materia seca se incrementa 43,9 kg/ha, 44,8 kg/ha, 43,7 kg/ha y 94,7 kg/ha, respectivamente en las gramíneas mencionadas, por lo cual se deduce que la maralfafa es el material de mayor incremento en rendimiento por unidad de incremento en evapotranspiración y el elefante es el de menor incremento.

p. 83-99

Tabla 10. Evapotranspiración real (ET) y rendimientos (R) de las gramíneas de corte. C.I. Motilonia, 2008 - 2009

Nivel	King grass morado		King grass verde		Elefante		Maralfalfa	
	ET (mm)	R kg MS/ha	ET (mm)	R kg MS/ha	ET (mm)	R kg MS/ha	ET (mm)	R kg MS/ha
1	298	20611	296	18412	295	22428	318	27970
2	249	19249	250	14505	246	20562	266	25162
3	216	17458	213	13814	211	19558	234	21710
4	192	16947	188	13639	185	18439	211	18397
5	168	15156	166	12693	161	16456	192	17078
6	149	14077	145	10337	146	15912	163	13708

Efectos del agua sobre el rendimiento de las gramíneas en el cuarto ciclo

En el experimento de gradiente, el tratamiento 1 dispuso de agua suficiente, por lo que se obtuvo la evapotranspiración máxima y ésta fue decreciendo hasta el tratamiento 6; es decir, los tratamientos 2 a 6 se sometieron a estrés hídrico producido por los déficits de evapotranspiración. Lo anterior permitió comparar cada nivel de estrés obtenido con los máximos niveles de rendimiento y evapotranspiración en cuanto a porcentaje de reducción de rendimiento contra porcentaje de déficit de evapotranspiración.

La tabla 11 registra los porcentajes de reducción de rendimiento y los correspondientes porcentajes de déficits de evapotranspiración de cada variedad calculados con los valores de la tabla 10 mediante las expresiones $(1 - R/R_{max})$ y $(1 - ET/ET_{max})$, respectivamente.

Las regresiones realizadas con los datos de la tabla 11 arrojaron las siguientes ecuaciones para los materiales king grass morado, king grass verde, elefante y maralfalfa:

RR = 0,63D ET - 1,8

RR = 0,72D ET + 3,6

RR = 0,58 D ET - 1,5

RR = 1,07D ET - 3,4

Donde:

RR = % de reducción de rendimiento
DET = % de déficit de evapotranspiración

Los coeficientes de determinación fueron significativo ($P \leq 0,05$) en king grass morado y altamente significativos ($P \leq 0,001$) en las otras gramíneas (0,98; 0,90; 0,98 y 0,99 respectivamente).

Los coeficientes de las ecuaciones anteriores corresponden a Ky (factor del efecto sobre el rendimiento) e indican para las gramíneas king grass morado, king grass verde, elefante y maralfalfa que por cada unidad porcentual de déficit de evapotranspiración se presenta una reducción de rendimiento de 0,63%; 0,72%; 0,58% y 1,07%, respectivamente. Por lo tanto, la gramínea más eficiente en el uso de agua o más tolerante a la sequía es el pasto elefante, el cual presenta menor disminución de rendimiento (0,58%) por cada 1% de déficit de evapotranspiración, y el menos eficiente es la maralfalfa con una reducción de rendimiento de 1,07% por cada 1% de déficit hídrico. En general, valores de Ky menores de 1 indican alta eficiencia en el uso de agua (Rojas, 1984); por lo tanto, todas las gramíneas evaluadas son tolerantes a la sequía, y entre ellas el pasto elefante demostró la mayor tolerancia. Doorembos y Kassan (1980) sostienen que los genotipos de más baja producción con riego, por su poca sensibilidad al agua, suelen ser los más eficientes y adecuados para la producción en secano, mientras los materiales con alta producción con riego, por su gran sensibilidad en su respuesta al agua, generalmente son menos eficientes.

Ruiz *et al*. (2011) reportaron un Ky promedio para gramíneas forrajeras en Tabasco, México de 0,80, mientras el promedio de Motilonia para las cuatro gramíneas fue 0,75.

p. 83-99

© 2014 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Tabla 11. Porcentajes de déficits de evapotranspiración *vs.* porcentajes de reducción de rendimientos de las gramíneas

Nivel	King grass morado		King grass verde		Elefante		Maralfalfa	
	Déficit de ET (%)	Pérdida de R (%)	Déficit de ET (%)	Pérdida de R (%)	Déficit de ET (%)	Pérdida de R (%)	Déficit de ET (%)	Pérdida de R (%)
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	16	7	15	21	17	8	16	10
3	27	15	28	25	29	13	26	22
4	36	18	37	26	37	18	34	34
5	43	26	44	31	46	27	40	39
6	50	32	51	44	51	29	49	51

CONCLUSIONES

Los requerimientos totales de agua en cuanto a evapotranspiración para las condiciones de Agustín Codazzi (Cesar) de las gramíneas king grass verde, king grass morado, elefante y maralfalfa, en épocas de sequía, fueron en su orden de 327, 323, 322 y 342 mm, en un período de 70 días entre dos cortes; entre tanto, en época de lluvias, en el mismo período, fueron de 297, 296, 295 y 317,8 mm, respectivamente.

La relación entre la evapotranspiración y el rendimiento de las gramíneas king grass verde, king grass morado, elefante y maralfalfa está determinada por ecuaciones cuadráticas y lineales.

El máximo diario de evapotranspiración de las gramíneas fue obtenido por la maralfalfa con 6,2 mm/día.

El pasto elefante fue la gramínea más eficiente en el uso de agua, con un porcentaje de reducción de rendimiento de 0,57%, mientras que el menos eficiente fue la maralfalfa con un porcentaje de reducción de rendimiento de 1,07%.

Se recomienda en condiciones de riego sembrar maralfalfa y en condiciones de secano sembrar elefante.

REFERENCIAS

Almanza ME. 1996. Requerimientos de agua por las plantas. En: Aspectos básicos del riego. Corpoica – INAT. Ibagué, Colombia. p. 80 – 81.

Allen GRL, Santos PD, Raes, M Smith. 2006. Evapo¬transpiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Riego y Drena¬je #56. Roma. p. 87 – 88.

Bajuc M. 2004. Productividad del pasto llorón con riego limitado. Biblioteca digital. http:bdigital. Uncu.edu.ar. 8 p. Consulta: mayo 2013.

Camejo BL, Duarte NL. 2002. Relación agua - rendimiento y manejo del riego en algunos de los principales cultivos de la zona central de Cuba. Ingeniería hidráulica 23 (3) http://www.bvsde.paho.org. 4 p. Consulta: junio 2013.

Doorembos J, Kassan AH. 1986. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Riego y Drenaje #33. Roma, FAO. 178 p.

Doorembos J, Pruitt WO. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. Riego y drenaje #24. Roma FAO 78 p.

García CI, Briones SG. 1997. Sistemas de riego por aspersión y goteo. Editorial Trillas, México. 127 p.

Herrera J, González F, Zamora E. 2010. Coeficientes de cultivo (Kc) del King grass para diferentes épocas del año y edad de la planta. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 19(1):44.

Instituto Colombiano Agropecuario. 1993. Resumen del diagnóstico sobre la problemática biofísica, económica y tecnológica agropecuaria de la Regional Tres del ICA (Cesar, Guajira y Magdalena). Valledupar. 100 p.

Israelsen OW, Hansen VE. 1965. Principios y aplicaciones de riego. Editorial Reverté Barcelona 246 p.

Little MT, Hills F. 1989. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Editorial Trillas. México. 245 p.

Murillo SJ. 2002. Requerimientos hídricos y efectos del agua sobre el rendimiento del algodonero. En: Estrategias de organización, comercialización y tecnológicas para mejorar la competitividad del sistema de producción del algodón en el Cesar y La Guajira. Foro tecnológico. Colombia (Aguachica, Codazzi, Villanueva). p. 71-79.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1996. Rentabilidad en la agricultura: ¿Con más subsidios o con más profesionalismo? Organización Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile. 20. Bogotá. 13 p.

p. 83-99

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1977. Necesidades de agua de los cultivos. Hidrología/riego. http://www.fagro.edu.uy. 38 p. Consulta: mayo 1993.

Rojas PH, Caicedo A. 1986. Investigaciones del ICA sobre requerimientos hídricos de los cultivos. En: Manual de Riego y Drenajes. ICA, Bogotá. p. 7–8.

Rojas PH. 1984. Riego por gradiente en el cultivo del algodón. (Tesis de Magister en recursos hidráulicos) Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá. 100 p.

Rojas PH. 1986. Investigaciones del ICA sobre requerimientos hídricos de los cultivos. En: Manual de Riego y Drenajes. Bogotá, ICA. 2 p.

Rojas PH. 1996. Balance hídrico. En: Aspectos básicos del riego. Bogotá: Corpoica - INAT. 87 p.

Roncallo FB, Sierra AA, Castro RE. 2012. Rendimiento de forraje de gramíneas de corte y efecto sobre calidad composicional y producción de leche en el Caribe seco. Revista Corpoica 13(1):71-78.

Ruiz AO *et al*. 2011. Requerimiento de riego y predicción del rendimiento en gramíneas forrajeras mediante un modelo de simulación en Tabasco, México. Agrociencia. http://www.colpos.mx. 16 p. Consulta: mayo 2013.

Terán C. 2004. Manejo del recurso hídrico en sistemas de producción ganaderos en el trópico alto En: primera reunión de la Red de Recursos Forrajeros. Memorias. Corpoica. Bogotá. 8 p.

p. 83-99

© 2014 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria