

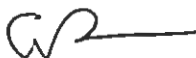
VEREDICTO

Quienes suscriben, integrantes del jurado designado por el Consejo de Estudios de Postgrado, de la Universidad de Los Andes para conocer y emitir veredicto sobre el **TRABAJO DE GRADO DE MAESTRÍA** de **Yaneth Adriana Rincón Trujillo**, para optar el título de **Magíster Scientiae en Ecología Tropical** y que se titula:

DINÁMICA HÍDRICA DE UN PASTIZAL DE *Pennisetum clandestinum* Hochst ex. Chiov. EN UN ÁREA DE SELVA NUBLADA DE LOS ANDES VENEZOLANOS."

Hacen constar lo siguiente:

PRIMERO: Que hoy 21 de febrero de 2006, a las 9:30 a.m. nos constituimos como jurado en el salón de reuniones del Postgrado en Ecología Tropical, en la Facultad de Ciencias, siendo Presidente del Jurado la Dra. Michele Ataroff Soler. **SEGUNDO:** A continuación procedimos a discutir si se lleva a cabo la defensa pública del trabajo presentado a nuestra consideración. Luego de considerar las observaciones críticas de cada miembro de jurado, acordamos por unanimidad autorizar su presentación. **TERCERO:** A las 10:00 a.m. de este mismo día, en el salón B-12 se dio curso al acto público de sustentación del Trabajo de Grado presentado a requerimiento del jurado. **CUARTO:** Una vez concluida la sustentación correspondiente, el jurado interrogó a la aspirante sobre los diversos aspectos a que el trabajo se refiere. **QUINTO:** Seguidamente la presidenta del jurado invitó al público asistente a formular preguntas y observaciones sobre el trabajo presentado. **SEXTO:** Una vez concluido el acto de presentación, el jurado procedió a su deliberación final y concluyó que: **SE APRUEBA EL TRABAJO DE GRADO A NUESTRA CONSIDERACIÓN.**


Dr. Fermín Rada
Jurado




M.Sc. Ciro Dávila
Jurado


Dra. Michele Ataroff
Tutora

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE CIENCIAS
POSTGRADO DE ECOLOGIA TROPICAL
INSTITUTO DE CIENCIAS AMBIENTALES Y ECOLOGICAS

DINAMICA HIDRICA DE UN PASTIZAL DE *Pennisetum clandestinum* Hochst ex. Chiov EN UN AREA DE SELVA NUBLADA DE LOS ANDES VENEZOLANOS

YANETH ADRIANA RINCON TRUJILLO

TUTORA: Dra. MICHELE ATAROFF S.
COTUTOR: Dr. FERMIN RADA R.

TRABAJO PRESENTADO ANTE LA
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR AL GRADO DE MAGISTER
SCIENTAE EN ECOLOGIA TROPICAL

MERIDA, VENEZUELA
FEBRERO 2006

TABLA DE CONTENIDO

Página

LISTA DE ABREVIATURAS
LISTA DE FIGURAS
LISTA DE TABLAS
LISTA DE ANEXOS
AGRADECIMIENTOS
RESUMEN
ABSTRACT

INTRODUCCION GENERAL	1
EL AREA DE ESTUDIO	5
DISEÑO EXPERIMENTAL	7
DESCRIPCION DE LA ESPECIE	9
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	16

CAPITULO 1: RELACIONES HIDRICAS E INTERCAMBIO DE GASES EN *Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov BAJO DISTINTAS CONDICIONES DE DISPONIBILIDAD DE AGUA

INTRODUCCION	21
HIPOTESIS	24
OBJETIVOS	24
GENERAL	24
ESPECIFICOS	24
MATERIALES Y METODOS	25
INTERCAMBIO DE GASES	26
POTENCIAL HIDRICO FOLIAR	28
TEMPERATURA FOLIAR	29
VARIABLES MICROCLIMATICAS	29
CONTENIDO HIDRICO DEL SUELO	29
AREA FOLIAR, INDICE DE AREA FOLIAR Y AREA FOLIAR ESPECIFICA	30
ANALISIS ESTADISTICO	30
RESULTADOS	31
DISCUSION	43
CONCLUSIONES	50
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	51

**CAPITULO 2: PARAMETROS DEL BALANCE HIDROLOGICO
EN EL PASTIZAL DE *Pennisetum clandestinum* Hochst
ex Chiov BAJO DISTINTOS NIVELES DE CORTE**

INTRODUCCION	60
EL BALANCE HIDRICO Y SU ESTUDIO A NIVEL DE ECOSISTEMAS	62
BALANCE HIDRICO	62
COMPONENTES DEL BALANCE HIDRICO	63
PRECIPITACION VERTICAL	64
INTERCEPCION	65
PRECIPITACION NETA	66
ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL	66
INFILTRACION DE AGUA EN EL SUELO	67
HUMEDAD DEL SUELO	69
DRENAJE	71
EVAPORACION Y TRANSPIRACION	72
HIPOTESIS	74
OBJETIVOS	75
GENERAL	75
ESPECIFICOS	75
MATERIALES Y METODOS	75
MEDIDAS DE FLUJOS HIDRICOS	75
PARAMETROS DE LA VEGETACION	85
ANALISIS ESTADISTICO	85
RESULTADOS	86
PRECIPITACION VERTICAL	88
PRECIPITACION NETA	91
ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL	95
ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO	100
DRENAJE INTERNO A TRAVES DEL SUELO	102
COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA BIOMASA Y ESTRUCTURA	108
DISCUSION	112

CAPITULO 3

DISCUSION GENERAL	120
CONCLUSIONES	125
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	127

LISTA DE ABREVIATURAS

A/Ks = Eficiencia intrínseca en el uso del agua

AF = Área foliar

AFE = Área foliar específica

Ba = Biomasa aérea

Bs = Biomasa subterránea

C.C = Capacidad de campo

CHs = Contenido de humedad relativo del suelo

Dr = Drenaje

DFFF = Densidad de flujo fotónico fotosintético

Esc = Escurrimiento superficial

ET = Evaporación del suelo + transpiración

Ev = Evaporación del suelo

EVT = Evapotranspiración

HR = Humedad relativa

I = Intercepción

IAF = Índice de área foliar

Inf = Infiltración

Ks = Conductancia estomática

PMP = Punto de marchitez permanente

Pnp = Precipitación neta parcial

Pnt = Precipitación neta total

PPt = Precipitación total

PPv = Precipitación vertical

R = Riego

Sc = Sin corte

T_f = Temperatura foliar

ΔS = Almacenamiento de agua en el suelo

Ψ_f = Potencial hídrico foliar

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 1

	Página
Figura 1.1 Vista de potreros del Instituto de Investigación Agropecuaria IIAP, Santa Rosa	7
Figura 1.2 Distribución de las parcelas y dispositivos en el área de estudio (potrero 4), del Instituto de Investigación Agropecuaria, IIAP.	8
Figura 1.3. Pasto Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst ex chiov)	11

CAPITULO 2

Figura 2.1 Curso diario del déficit de humedad relativa (HR), Temperatura foliar (T_f), densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF), conductancia estomática (Ks) y Transpiración (E), potencial hídrico (Ψ_f) y asimilación de CO ₂ (A) en <i>Pennisetum clandestinum</i> . Periodo húmedo (20/11/2002).	34
Figura 2.2. Curso diario del déficit de presión de Vapor (DPV), Humedad relativa (HR), Temperatura foliar (T_f), densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF), conductancia estomática (Ks) y Transpiración (E), potencial hídrico (Ψ_f) y asimilación de CO ₂ en <i>Pennisetum clandestinum</i> . Periodo seco (5/03/2003).	35
Figura: 2.3. Relación entre la conductancia estomática (Ks) y el potencial hídrico foliar (Ψ_f) agrupando los distintos tratamientos del pastizal Kikuyo.	41
Figura 2.4. Contenido de humedad en porcentaje para los tratamientos de pastizal sin corte (SC), pastizal con corte a 10 cm y 5 cm de altura durante el periodo húmedo de estudio (noviembre-diciembre 2002). CC: Capacidad de campo; PMP: Punto de marchitez permanente.	42
Figura 2.5. Contenido de humedad en porcentaje para los tratamientos de pastizal sin corte (SC), pastizal con corte a 10 cm y 5 cm de altura durante el periodo seco de estudio (diciembre – marzo del 2003, con cubierta plástica). CC: Capacidad de campo; PMP: Punto de marchitez permanente.	42

Lista de figuras (continuación)

CAPITULO 3

	Página
Figura 3.1. Parcela de escorrentía instalada en cada unidad experimental	77
Figura 3.2. Lisímetro monolítico instalado en cada unidad experimental	79
Figura 3.3. Unidades experimentales con cubierta de plástico transparente.	81
Figura 3.4. Componentes a nivel de entrada (precipitación total y precipitación efectiva), reserva (almacenamiento de agua en el suelo) y salida (intercepción, escurrimiento superficial, drenaje, evaporación y transpiración) en el balance hídrico del pastizal de kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst ex Chiov).	84
Figura 3.5. Climadiagrama de la estación experimental Santa Rosa	89
Figura 3.6. Frecuencia de días consecutivos sin lluvia en la Estación experimental de Santa Rosa (I.I.A.P) para el período 1974 – 2003	90
Figura 3.7. Precipitación total diaria ($PPt = PPv + R$) durante el periodo húmedo en el área de estudio	91
Figura 3.8. Dinámica de la precipitación total (PPt) y precipitación neta parcial (Pnp) para los tres tratamientos del de <i>P. clandestinum</i> durante el período húmedo de Noviembre – diciembre	92
Figura 3.9. Relación entre precipitación neta parcial (Pnp) y la precipitación total (PPt) durante el período húmedo en el de Kikuyo (<i>P. clandestinum</i>) sin corte.	94
Figura 3.10. Relación entre precipitación neta parcial (Pnp) y la precipitación total (PPt) durante el periodo húmedo en el de Kikuyo (<i>P. clandestinum</i>) con corte a 10 cm de altura.	94
Figura 3.11. Relación entre precipitación neta parcial (Pnp) y la precipitación total (PPt) durante el periodo húmedo en el pastizal de Kikuyo (<i>P. clandestinum</i>) con corte a 5 cm de altura.	95
Figura 3.12. Dinámica de la precipitación total y el escurrimiento superficial para los pastizales sin corte (control) y con corte a 10 cm y 5 cm de altura en el de <i>P. clandestinum</i> .	97
Figura 3.13. Relación entre el escurrimiento superficial (Esc) y la precipitación total (PPt) en el de Kikuyo (<i>P. clandestinum</i>) sin corte en el área de estudio.	98

Lista de figuras (continuación)

	Página
Figura 3.14. Relación entre el escurrimiento superficial (Esc) y la precipitación total (PPt) en el de Kikuyo (<i>P. clandestinum</i>) con corte a 10 cm de altura en el área de estudio.	98
Figura 3.15. Relación entre el escurrimiento superficial (Esc) y la precipitación total (PPt) en el de Kikuyo (<i>P. clandestinum</i>) con corte a 5 cm de altura en el área de estudio.	99
Figura 3.16. Relación del contenido de humedad con la precipitación diaria para los tratamientos de sin corte (SC), con corte a 10cm y con corte a 5cm de altura durante el período húmedo (2002) y período seco (2003).	100
Figura 3.17. Contenido de humedad en porcentaje para los tratamientos de pastizal sin corte (SC), pastizal con corte a 10 cm y 5 cm de altura durante el período húmedo de estudio (noviembre-diciembre 2002). CC: Capacidad de campo; PMP: Punto de marchitez permanente.	101
Figura 3.18. Contenido de humedad en porcentaje para los tratamientos de pastizal sin corte (SC), pastizal con corte a 10cm y 5cm de altura durante el período seco de estudio (diciembre- febrero 2003, bajo cubierta plástica). CC: capacidad de campo; PMP: punto de marchitez permanente.	102
Figura 3.19. Dinámica de la precipitación total y el drenaje para el pastizal sin corte, con corte a 10 cm de altura, con corte a 5 cm de altura y suelo desnudo (SD)	104
Figura 3.20. Relación entre el drenaje y la precipitación total (PPt) en el pastizal Kikuyo (<i>P. clandestinum</i>) sin corte.	105
Figura 3.21. Relación entre el drenaje y la precipitación total (PPt) en el pastizal con corte a 10 cm de altura para el período húmedo de estudio.	106
Figura 3.22. Relación entre el drenaje y la precipitación total (PPt) en el pastizal con corte a 5 cm de altura para el período húmedo de estudio.	107
Figura 3.23. Dinámica de la precipitación total y el drenaje registrado por los lisímetros para el pastizal sin corte, con corte a 5 cm de altura, con corte a 10cm de altura y suelo desnudo.	107
Figura 3.24 Biomasa foliar, aérea y radical en los tratamientos sin corte, con corte a 10cm y 5 cm de altura a los 14 días después de iniciado el período húmedo (1/12/2002) y 16 y 41 después de iniciado el período seco (7/01/2003 y 1/02/2003).	109
Figura 3.25. Estructura aérea del pastizal sin corte, con corte a 10 cm y 5 cm de altura a los 14 días después de iniciado	110

Lista de figuras (continuación)

Página

el período húmedo (1/12/2002) y 25 y 41 días después de iniciado el período seco (16/01/2003 y 1/02/2003). Cada fragmento de la barra horizontal en los tratamientos corresponde a la biomasa aérea comprendida por el estrato (intervalos de altura).

Figura 3.26. Esquema general del balance hídrico en los pastizales sin corte, con corte a 10 cm y 5 cm durante el período húmedo 121

Figura 3.27. Esquema general del balance hídrico en los pastizales sin corte, con corte a 10 cm y 5 cm durante el período seco. 122

LISTA DE TABLAS

CAPITULO 2

	Página
Tabla 2.1 Area foliar (AF), área foliar específica (AFE) e índice de área foliar (IAF) de <i>Pennisetum clandestinum</i> para los tratamientos sin corte, con corte a 10cm y 5cm de altura a los 14 días de iniciado el período húmedo (1/12/2002) y después de 31 (22/01/2003) y 83 días (15/03/2003) de iniciado el período seco. Valores entre paréntesis corresponder al error estándar.	32
Tabla 2.2. Datos promedio de parámetros ecofisiológicos y microclimáticos para <i>P. clandestinum</i> durante los cursos realizados el 20/11/2002, y 4/12/2002 (período húmedo) y 5/03/2003 y 13/03/2003 (período seco) con su respectivo error estándar (E.E). DFFF ($\mu\text{molm}^{-2}\text{S}^{-1}$), Ks ($\text{mmolm}^{-2}\text{S}^{-1}$), E ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$), A ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$), A/Ks ($\text{mmolm}^{-2}\text{S}^{-1}/\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$), Ψ_f (MPa), T_f (°C), HR (%) y CHs (%).	37
Tabla 2.3. Valores mínimos de Ψ_f (MPa) y máximos de parámetros ecofisiológicos y microclimáticos medidos en el pastizal <i>P. clandestinum</i> durante los cursos diarios de días típicos del período húmedo y seco (20/11/2002, 4/12/2002, 5/03/2003 y 13/03/2003). DFFF ($\mu\text{molm}^{-2}\text{S}^{-1}$), Ks ($\text{mmolm}^{-2}\text{S}^{-1}$), E ($\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$), A ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$), A/Ks ($\text{mmolm}^{-2}\text{S}^{-1}/\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$), T_f (°C), HR (%) y CHs (%).	39

CAPITULO 3

Tabla 3.1. Componentes del balance hídrico para lapsos de cinco días en el pastizal sin corte (control). Noviembre - diciembre 2002. Valores entre paréntesis: % en relación a la precipitación total.	86
Tabla 3.2. Componentes del balance hídrico para lapsos de cinco días en el pastizal con corte a 10cm de altura. Noviembre - diciembre 2002. Valores entre paréntesis: % en relación a la precipitación total.	87
Tabla 3.3 Componentes del balance hídrico para lapsos de cinco días en el pastizal con corte a 5 cm. Noviembre - diciembre 2002. Valores entre paréntesis: % en relación a la precipitación total	87
Tabla 3.4. Intercepción y precipitación neta total en pastizal <i>P. clandestinum</i> con precipitación vertical simulada de 11,1 mm, en tratamientos sin corte, con corte a 10 cm y a 5 cm de altura.	88
Tabla 3.5. Precipitación neta total y parcial para pastizales y otros cultivos con respecto a la precipitación total	117

AGRADECIMIENTOS

A todos los que colaboraron directa o indirectamente para la realización de este trabajo. En especial:

A los profesores Michele Ataroff y Fermín Rada, por sus valiosas contribuciones y sugerencias y sobretodo por la amistad construida a lo largo de este periodo.

A la Red Interamericana de Cooperación Andes Sabanas (RICAS) a través del proyecto IAI – CRN – 040. y al Concejo de Desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de los Andes (proyecto código c- 1167-02-01-EM), por su financiamiento en la realización de este proyecto.

A todos los funcionarios del instituto de Investigación Agropecuaria (IIAP) por ser piezas claves en la realización de este trabajo, en especial a los obreros y técnicos por la entusiasta ayuda brindada en el trabajo de campo.

A los profesores del postgrado, en especial al profesor Segnini, Mario y Carlos por sugerirme como analizar estadísticamente los datos del presente trabajo.

A los técnicos del laboratorio del ICAE Johny, Zulay y Francis por su colaboración en el trabajo de campo y en la manipulación de las muestras vegetales.

A Roberto López por su ayuda en las medidas de suelo y discusión sobre ciertos parámetros asociados al comportamiento edáfico.

A Guillermo Bianchi por su asesoría en el procesamiento de los datos y análisis estadístico.

Al laboratorio de suelos del Instituto de Geografía por el análisis de las muestras.

A mis grandes amigos Kleyra, Esteban, Irene, Leida, Luisa, Darío, José, Victor, Pedro, William, Marlene, Adriana, Ciro, Coromoto y Carlos por darme su amor y amistad.

A mis padres, mi hermano David y mi prima Lina por todos los momentos de alegría y de apoyo que me brindaron, a pesar de la distancia siempre estuvieron presentes.

A todos los demás colegas presentes en mi vida durante la realización de este trabajo.

RESUMEN

La introducción de pastizales en sistemas naturales implica cambios en el funcionamiento hidrológico dependientes de la configuración espacial de la especie, la topografía y el clima que la rodea. En este trabajo, se realizó un monitoreo de la dinámica hídrica de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex chiov) sometido a distintos niveles de corte: sin corte, con corte a 10 cm y con corte a 5 cm de altura establecido en una selva nublada montano baja a 1920 m.s.n.m, en los Andes de Venezuela. La precipitación total (PPt) y precipitación neta parcial (Pnp) fueron medidas mediante pluviómetros cilíndricos y tipo canal, mientras que el escurrimiento superficial (Esc), el contenido de agua en el suelo y el drenaje se determinaron mediante parcelas de escurrimiento, el método gravimétrico y lisímetros. La precipitación total registrada durante 35 días de época húmeda fue 192,40mm, incluyendo un aporte por riego. La Pnp para el pastizal sin corte fue 28,6% de PPt, 49,7% y 49,0% para el pasto con corte a 10cm y 5cm, respectivamente. La precipitación neta parcial en el pastizal sin corte fue significativamente menor que en los tratamientos con corte debido a una mayor cantidad de biomasa aérea presente. Se estimó la precipitación neta total en 71% para el pastizal sin corte, 85% para 10 cm y 90% para 5 cm. Los valores de Esc resultaron bajos en todos los casos. Sin embargo, el escurrimiento observado en el tratamiento de 5 cm resultó mayor comparado con 10 cm y sin corte. El contenido de humedad en el horizonte superficial (0-27cm) no resultó significativamente diferente entre tratamientos; no obstante, los valores porcentuales fueron de 24,2%, 25,1% y 25,6% para el sin corte, 10 cm y 5 cm de altura, respectivamente. Esta

variación demostró la importante interacción de otros procesos hídricos (precipitación, evaporación, transpiración y drenaje). El contenido de humedad promedio para el periodo seco correspondió a 24,0% para el pastizal sin corte, 22,7% y 21,9% para el pastizal con corte a 10 cm y 5 cm, respectivamente. En general, el mayor decrecimiento en contenido de humedad ocurrió 44 días después de iniciado el periodo seco, respuesta que asumió la gramínea reduciendo la biomasa aérea y subterránea, ajustando la apertura estomática y restringiendo la transpiración. El drenaje mostró valores de 22,2%, 46,7% y 40,1% de PPT para el pastizal sin corte, con corte a 10 cm y 5 cm, respectivamente. Por otra parte, el drenaje medido en suelo desnudo durante 19 días exhibió un valor total de 52,2% de PPT. El balance general del pastizal de kikuyo durante el período húmedo mostró una intercepción baja del follaje (10 – 30%) determinada por el nivel de corte y por la arquitectura de las plantas, la cual parece favorecer la escorrentía caulinar. El bajo Esc resultó acorde con lo que se conoce para la especie. Aunque sólo se consideró una profundidad de 30 cm, los valores de drenaje permitieron estimar la evapotranspiración para este período entre 38 y 73%. Los resultados de este trabajo tienen un importante significado al permitir entender como el manejo de la biomasa aérea debido al corte afecta la dinámica hídrica y cambia el balance positivamente incrementando las reservas subterráneas o flujos subsuperficiales.

ABSTRACT

The introduction of pastures into natural system implies changes in the hydrological functioning dependent on species spatial configuration, topography and surrounding climate. Water dynamics of a Kikuyo pasture (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex chiov) subjected to different cutting levels (without cutting, cutting at 10 cm and 5 cm in height) established in the low montane cloud forest at 1920 masl was evaluated. Total precipitation and partial net precipitation were measured with cylindrical and channel pluviometers, while surface runoff, soil water content and drainage were determined through runoff plots, gravimetric method y and lysimeters. Total precipitation, for the study period, was 192 mm which included an additional artificial contribution (irrigation). Partial net precipitation for the pasture without was 28,6%, 49,7% y 49% for without cutting, 10 cm and 5 cm, respectively. Partial net precipitation for the pasture without cutting was significantly lower compared to the two cutting treatments due to a greater amount of biomass present. Estimation of total net precipitation was 71% for the pasture without cutting, 85% for 10 cm and 90% for the 5 cm. Values of surface runoff were negligible in all cases. However, surface runoff in the 5 cm treatment was higher compared to 10 cm and without cutting. Water content for the surface horizon (0 -27 cm) was not significantly different between treatments; nonetheless, percentage values were 24,2%, 25,1% and 25,6% for without cutting, 10 cm and 5 cm treatments, respectively. This variation demonstrated the important interactions between other processes (precipitation, evaporation, transpiration and drainage). Mean water content for the dry period corresponded to 24,0% for the pasture without cutting, and 22,7% ad 21,9% for the pastures with cutting at 10 cm and 5 cm, respectively. In general, the greater decrease in water content occurred 44 days after the beginning of the

dry period, in which the grass responded reducing aboveground and belowground biomass, adjusting stomatal opening and restricting transpiration. Water drainage measurements showed values of 22,2%, 46,7% y 40,1% de PPt for without cutting, cutting at 10 cm and 5 cm, respectively. On the other hand, drainage measured during 19 days in bare soil exhibited a value of 52,2% of PPt. The general balance for the Kikuyo pasture during the wet season displayed low foliage interception (10 – 30%) determined by the cutting level and plant architecture which would seem to favor stem flow. This low stem agreed with reported values for the species. Even though we only considered depth down to 30 cm, drainage values permitted to estimate evapotranspiration for this season between 38 and 73%. These results have an important significance in that they allow us to understand how the management of the aboveground biomass due to cutting affects the water dynamics and changes the balance possibly increasing belowground reserves or subsurface flows.

INTRODUCCION

La selva nublada presenta condiciones climáticas especiales como alta precipitación, elevada humedad, baja radiación y presencia de neblina que han favorecido el establecimiento y permanencia de ciertas formaciones vegetales. El aporte continuo de neblina en el sistema constituye un importante ingreso de agua interceptado por el follaje de las plantas y aglomerado en gotas más grandes que al caer influyen en el estatus hídrico del suelo (Bruijnzeel y Hamilton 2000, Ataroff 2001). En adición, la incidencia frecuente de nubes disipa la radiación creando problemas energéticos a los que han respondido las especies vegetales mediante un ajuste morfológico y fisiológico (Medina 1986, Ataroff y Schwarzkopf 1992, Cavelier 1996).

La transición altitudinal de la selva nublada varía de acuerdo a la dimensión, orientación, topografía y continentalidad del bloque montañoso, aspectos que intervienen en los patrones de temperatura y precipitación específicos. En los Andes venezolanos, las selvas nubladas presentan precipitaciones generalmente altas entre 1000 y 3000mm anuales con menos de dos meses climáticamente secos (Steinhard 1979, Cavelier y Goldstein 1989, Ataroff 2003). En la vertiente Norte, los patrones tetraestacionales muestran dos picos de precipitación, el primer pico entre mayo y junio y un segundo pico entre septiembre y Octubre.

La localización de las selvas nubladas en el cinturón altitudinal de la cordillera de Mérida oscila entre 1700 hasta 3000 m.s.n.m (Sarmiento et al. 1971, Ataroff y Monasterio 1987, Veillon 1994, Bono 1996). Una clara distinción del factor altitudinal en relación con los límites inferior y superior de la selva nublada lo representan las dos unidades ecológicas: selva nublada montano alta y selva nublada montano baja. En la unidad superior

(encima de 2.200m) los valores promedio anual de temperatura y precipitación están entre 9°C a 14°C y 1000 a 3000 mm, respectivamente; mientras que en la inferior (1700 a 2200 m) el rango de temperatura y precipitación es de 14 a 17°C y 1200 a 2500mm, respectivamente (Ataroff 2001).

En las últimas décadas diversos motivos han causado la deforestación de las selvas nubladas cambiando los límites altitudinales inicialmente señalados. La colonización rural y expansión del área agrícola en ecosistemas naturales venezolanos originada por la acción de políticas estatales de titulación y mercadeo de tierras propició la introducción de especies foráneas de interés comercial. A partir del siglo XVIII la fabricación de carbón por la práctica de tala de selvas nubladas dejó el camino abierto en los Andes para la implementación de la ganadería (Tulet y Ataroff, 1984).

Las condiciones ambientales tan particulares de la selva nublada no obstaculizan el establecimiento de pastizales. Según Salamanca (1986) esta actividad no parece ser económicamente rentable por los costos de operación en las labores de desmonte, preparación del suelo, prácticas culturales (abonamiento, control de malezas y riego) y material de siembra. Sin embargo esta dificultad poco restringe la ganaderización de las tierras, más bien induce a otras alternativas como la implantación de pastizales mejorados y un tipo de manejo extensivo.

Algunos investigadores declaran la zona alta de los Andes venezolanos como idónea para la producción intensiva de leche utilizando ganado europeo puro bajo un manejo intensivo (Medina 1980). Durante los últimos años los programas de desarrollo de la llamada “ganadería de altura” y recientemente ganado para lidia han adquirido importancia, acelerando la propagación de gramíneas forrajeras con mayor competencia y rendimiento

como el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) introducido en el estado Mérida hace más de 40 años.

El kikuyo, una especie perenne de origen africano presenta una serie de características morfológicas y fisiológicas que le permiten sobrevivir y crecer en un rango altitudinal entre los 1800 – 3000 m.s.n.m. Una de las mayores ventajas del kikuyo según Dávila y Chaverra (1987) es la resistencia al pastoreo continuo debido a las reservas de alimentos en los estolones y rizomas que permiten la formación rápida de una nueva área foliar. Hernández et al., (2000) indican que el Kikuyo tolera el pastoreo y propicia ganancias altas por unidad de superficie, al soportar una gran carga animal. En este sentido, el kikuyo presenta mayor capacidad de sostenimiento de unidades animales por hectárea (UA/ha) dando así una mayor producción de leche (Dávila y Chaverra 1987).

En contraste con estas características que se derivan del rápido crecimiento y la alta productividad, ciertos estudios ambientales basados en el Kikuyo reportan la invasión de bosques, sombreamiento de plántulas de arbustos y hierbas y liberación de sustancias alelopáticas que destruyen especies vecinas (Sánchez y Davis 1969). Como consecuencia de su naturaleza invasora, evitan recomendarlo para uso y propósitos de estabilización del suelo. Al respecto, Smith (1985) afirma que invade ambientes húmedos cuando el bosque es disturbado y resulta difícil erradicarlo por la densa maraña y cantidad de rizomas que forma.

El establecimiento de pastizales en sistemas naturales modifica la dinámica en los procesos del balance hídrico (Acevedo 1988, Bruijnzeel 1990, Malave y Marín 1985, Ataroff y Rada 2000, Ataroff y Sánchez 2000, Bruijnzeel y Hamilton 2000). En consecuencia, la nueva biomasa incide en la cantidad y movimiento del agua afectando procesos de intercepción, escorrentía, drenaje, almacenamiento en el suelo, evaporación y

transpiración. Estos cambios son acentuados por la acción defoliante del ganado cuya influencia en la estructura de la vegetación impone rutas diferentes a los flujos de agua. Las características de las precipitaciones (Clark 1940, Rutter y Morton 1977, Aparicio 2001), cantidad de biomasa (Acevedo 1988), estructura (Wood et al. 1998, Dorigo y Groenendaal 2000), fracción de cobertura (Gash et al. 1995) e índice de área foliar (Van Dijk 2002), entre otras, son aspectos importantes que modifican la dirección, retención y magnitud del flujo de agua.

Pocas investigaciones evalúan el impacto ecológico que induce el establecimiento de *P. clandestinum* en la dinámica hidrológica de ecosistemas andinos (Salm 1997, Ataroff y Sánchez 2000, Ataroff y Rada 2000, Pérez y López 2000, Fonseca y Ataroff 2005) y aún menos en términos específicos como monitorear la dirección que sigue el flujo de agua con la remoción de material vegetal por efecto de corte (defoliación) o incluso pastoreo. La implicación en la magnitud de los flujos hídricos es que tal diferenciación en la cantidad de biomasa aérea producto de la severidad del corte afecta el agua que alcanza el suelo y la fracción que infiltra. Las mediciones a nivel ecofisiológico muestran el papel importante del proceso de intercambio de gases en la dinámica hídrica debido a que informan acerca del comportamiento transpiratorio del sistema conforme varía el almacenamiento de agua en el suelo. En este estudio, el sometimiento a estrés hídrico fue evaluado controlando el ingreso de agua por un lapso superior al mayor registro de días consecutivos sin lluvia en este ambiente (36 días entre 1967 - 2003), aspecto utilizado para simular el período seco. Al respecto, la literatura muestra que existen escasas mediciones de los procesos hídricos afectados por corte o pastoreo (Merriam 1961, Enmerich y Heitschmid 2002). Varios interrogantes surgen del comportamiento que mantiene el agua ante las modificaciones experimentadas por corte, situación que se intenta aclarar en este trabajo, mediante una investigación

controlada en los diferentes tratamientos que incluye la altura alcanzada en pastoreo extensivo (10 cm) e intensivo (5 cm):

1. ¿Qué efecto ejerce la cantidad de biomasa aérea en el comportamiento de la precipitación neta parcial, escurrimiento superficial, almacenamiento de agua en el suelo y drenaje en los distintos sistemas de kikuyo ?
2. ¿Qué respuesta ecofisiológica asume el Kikuyo en el proceso de intercambio gaseoso con la fluctuación del estatus hídrico del suelo?

El presente estudio contribuye con información sobre la distribución y magnitud de los flujos que integran la dinámica hídrica de *P. clandestinum* establecido en un área de selva nublada montano baja y la posible conexión de ciertos componentes del sistema en el funcionamiento de las vías hídricas. En este contexto ecológico, el uso de la tierra y su grado de manejo representan un aspecto importante en la dinámica del agua al influir en el desenvolvimiento de los procesos.

AREA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en un terreno de la “Estación Experimental Santa Rosa” del Instituto de Investigación Agropecuaria de la Universidad de Los Andes (I.I.A.P – U.L.A), ubicada en el Distrito Libertador, estado Mérida, entre los 8° 38’ 21” latitud Norte y los 71° 08’ 48” de longitud Oeste (Figura 1.1). La estación experimental presenta una elevación promedio de 1920 m.s.n.m y una pendiente entre 10 – 39% (Romero, 1980).

La vegetación original corresponde a una selva nublada montano baja, fuertemente deforestada por la intensa intervención antrópica, producto del gran uso agrícola. El terreno del Instituto de Investigación Agropecuaria presenta 19 potreros que contienen una mezcla de pastizales conformados por kikuyo (*Pennisetum clandestinum Hochst ex Chiov*), capin Melao (*Melinis minutiflora*), pasto peludo (*Braquiaria decumbens*), pasto estrella

(*Cynodon plectostachyus*), cola de Zorro (*Setaria geniculata*) y Pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) con el objetivo de incrementar la producción de leche mediante forraje palatable y de gran rendimiento.

Los factores formadores del suelo son fundamentalmente el material parental, clima y relieve. Los principales procesos son: la adición de materiales orgánicos y minerales (escala geológica), transformaciones, translocación de materia orgánica, hierro y pérdidas por erosión superficial. En la litología superficial del suelo los materiales son de origen coluvial, depositados durante el pleistoceno. La petrografía variada presenta bloques de areniscas, gnéis y granito, algunos de gran tamaño, guijarros fundamentalmente cristalinos, areniscosos y material fino (arena, limo y arcilla). El régimen de humedad del suelo es údico por permanecer seco menos de 90 días acumulativos. La distribución de la temperatura ambiental define un régimen isotérmico, especialmente al considerar la diferencia de temperatura edáfica de + 2,0 – 2,3 °C respecto al aire (Romero 1980).

El suelo fue clasificado como Humic Dystrudepts (Anexo A), de acuerdo con el sistema de clasificación de Suelos del USDA (Soil Survey Staff 1998). Las clases de textura hasta una profundidad de 80cm son similares y están entre francoarenoso a franco. El horizonte superficial (0-27cm) presenta una densidad aparente de 0,94g cm⁻³ de acuerdo a la metodología de excavación o del hoyo (Pla, 1977). La profundidad neta del perfil se encuentra en ±60cm (moderadamente profundo). En el apéndice B puede observarse la caracterización de algunas de las propiedades físicas y químicas del suelo determinadas a partir de una calicata y la descripción de los horizontes. Algunas propiedades químicas características de estos suelos son: pH moderadamente ácido, capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases moderada a muy baja (Romero, 1980).



Figura 1.1 Vista del potrero 4 de la Estación experimental Santa Rosa, IIAP.

DISEÑO EXPERIMENTAL

El área de estudio, “potrero 4” de la Estación Experimental Santa Rosa, presenta pasto Kikuyo plantado desde hace más de 15 años y manejado por un sistema de pastoreo rotativo (Figura 1.1). Una parte de esta área fue dividida en tres bloques contiguos debido a la forma alargada de la zona cultivada con kikuyo dentro del potrero, para una superficie total de 36m x 6,5m (234 m²). Como unidades experimentales se emplean dentro de cada bloque tres parcelas que contienen tratamientos de corte diferentes, asignados al azar (Figura 1.2) (Montgomery y Runger 1996).

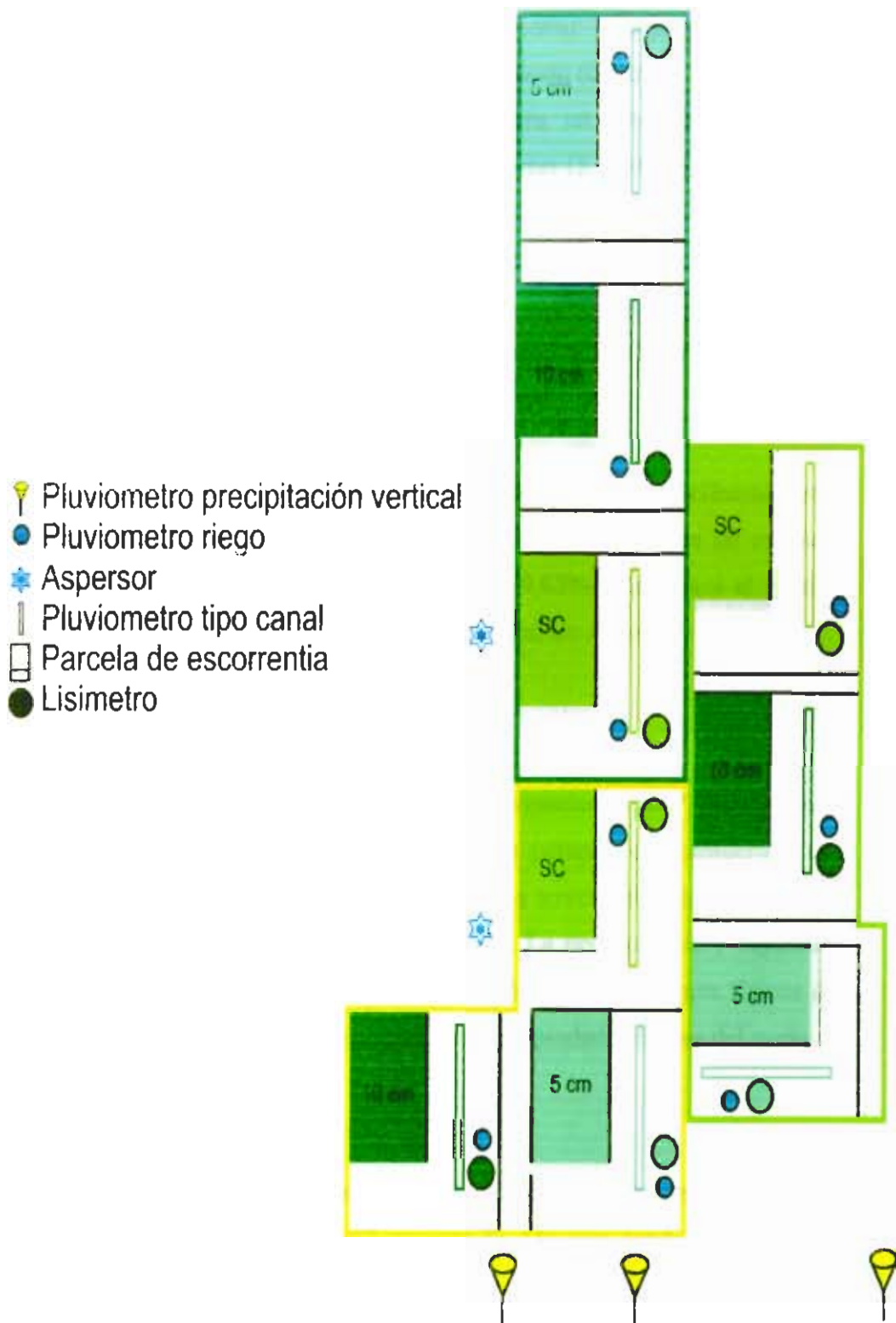


Figura 1.2 Distribución de las parcelas y dispositivos en el área de estudio (potrero 4), del Instituto de Investigación Agropecuaria, IIAP.

Los tratamientos utilizados en este estudio fueron: a) con corte a 5cm de altura, b) con corte a 10cm de altura y c) sin corte (control). Existieron tres réplicas o repeticiones por tratamiento, para un total de 9 unidades experimentales. La altura escogida para los cortes (5 y 10cm) corresponde a la que el pasto adquiere con intensidad de pastoreo intensiva o extensiva, respectivamente, definida acorde a la capacidad de carga animal: intensiva (1,0 U/A) y extensiva (0,5 U/A) (C. Dávila, comunicación personal). Los cortes en las unidades experimentales a 10 cm y 5 cm de altura se realizaron el 16/11/2002, 2/12/2002 y el 3/01/2003.

La inclinación de las parcelas fue determinada con un clinamómetro, obteniéndose de este modo una media de $11,37\% \pm 2,98$ para las unidades experimentales de pastizal con corte a 5cm, $9,63\% \pm 2,65$ para el pastizal con corte a 10cm y $7,97\% \pm 0,60$ para el pastizal sin corte.

DESCRIPCION DE LA ESPECIE

Dentro de este criterio se presentan aspectos importantes de *P. clandestinum* relacionados con su ecología. Esta gramínea perenne es considerada una buena forrajera capaz de mantener su calidad a través del ciclo vegetativo y soportar una alta carga animal (Mears 1970). La permanencia y capacidad de supervivencia de la especie guarda relación con los factores físicos del ambiente como temperatura, precipitación y propiedades físicas del suelo.

LA ESPECIE

Pennisetum clandestinum, es una gramínea perenne nativa de la altiplanicie de Africa centro oriental específicamente de Abisinia donde es catalogada comúnmente como Kikuyo, nombre que se deriva de una tribu indígena. Esta forrajera de clima templado pertenece a la familia Poaceae y crece en un rango altitudinal entre los 1830 – 3050 m.s.n.m (Figura 1.3). Se adapta a los subtrópicos prefiriendo los climas húmedos y áreas cálidas con una

pluviosidad de 890mm o más. El pasto Kikuyo crece mejor bajo temperaturas frías a cálidas (16 a 32 °C) y condiciones húmedas. Sin embargo, también sobrevive a temperaturas altas de 37,8 °C. Al respecto, Wilen y Holt (1996) destacan que temperaturas por encima de 40 °C y por debajo de 0 °C restringen el crecimiento. La temperatura óptima para su germinación esta dentro del rango de 19 – 29 °C con la tasa más rápida a 29 °C (Blair et al., 1974) y la temperatura de crecimiento óptima esta entre 16 a 21 °C (Russell y Webb, 1976).

De acuerdo a Dale (1976), la especie *P. clandestinum* tolera sequía, sobrevive a inundaciones por encima de los diez días y presenta buena persistencia en áreas de precipitación media anual entre 670 y 720mm, con un 60% de incidencia de verano durante el año. Reynolds (1976) señala que caídas de temperatura durante el invierno hasta de -5 °C hacen que el pasto Kikuyo retarde su colonización masiva en suelos arcillosos pero mantiene el adecuado suministro de nutrientes, cuando las áreas no están sujetas a salinidad. Un estudio realizado por Murtag (1976) evidencia temperaturas máximas de 21 °C y mínimas de 8 °C y la sobrevivencia de la especie en periodos secos disminuyendo la velocidad de crecimiento cuando más de la mitad de la humedad aprovechable ha sido removida. Murtagh et al. (1987) encontraron que la respiración de *P. clandestinum* disminuyó al menos una tercera parte al bajar de 30 a 15 °C la temperatura ambiente. El pasto kikuyo presenta una rápida recuperación después de la sequía, corte y/o sobrepastoreo, pero al parecer muestra una alta sensibilidad a las heladas (Márquez et al. 2001).

Durante los periodos de alta luz y temperaturas cálidas presenta una alta asimilación de CO₂ y un crecimiento rápido. Wilen y Holt (1996) sostienen que el crecimiento rápido y vigoroso del pasto kikuyo en climas de las zonas templadas se debe a su capacidad de mantener altas tasas fotosintéticas tanto a temperaturas frías como cálidas. A la vez, bajo

temperaturas cálidas, esta especie rápidamente incrementa biomasa y área foliar a una gran extensión. En zonas templadas, el kikuyo es capaz de mantener una tasa de crecimiento constante a bajas temperaturas y presenta crecimiento óptimo durante el verano. El rápido crecimiento de Kikuyo le permite sostener tasas de crecimiento del vástago que exceden 2,5 cm por día. La velocidad de crecimiento del kikuyo aumenta a medida que la temperatura del aire se hace mayor de modo que la temperatura tiene mayor efecto que la radiación solar diaria (Pearson et al 1985).

La especie *Pennisetum clandestinum* requiere de suelos arcillo arenosos con abundantes materiales fértiles y un buen drenaje. No obstante, experimenta un amplio rango de adaptación a diferentes tipos de suelo (Betancourt, 1994). El sistema radical puede presentarse superficial ocasionado por acidez (pH <5,5) y por niveles tóxicos de aluminio en el suelo (Foy, 1988)



Figura 1.3. Pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex chiov)

CARACTERISTICAS BIOLÓGICAS DE *Pennisetum clandestinum*

La aparente simplicidad de la estructura vegetativa y reproductiva de los pastos es una señal de su extrema especialización (Stebbins, 1972). El pasto kikuyo presenta retoños y ramificaciones que producen un césped denso de 15 a 30 cm semejante a un colchón. Los tallos erectos o semi-erectos alcanzan 30 a 120cm de altura. En los nudos de los tallos salen hojas alternas, dísticas, diferenciadas por la vaina que surge del tallo y el limbo generalmente linear-lanceolado y divergente con nervios marcados y paralelos. Entre el limbo y la vaina, en posición interna, se encuentra la lígula, un pequeño órgano membranoso. La lígula puede ser reconocida por un anillo de pelos, y el collar por el prominente color amarillo pálido. Las hojas de color verde y lisas presentan un ancho de 8 a 10 mm y una longitud de 10 a 20 cm. Con pastoreo no muy intensivo, las hojas son algo encorvadas, largas y plegadas alcanzando hasta 30 o 55 cm de longitud (Smith, 1985, Dávila y Chaverra, 1987).

Presenta un hábito de crecimiento postrado dispersándose de modo vegetativo mediante tallos interdigitados. Estos tallos (estolones) frecuentemente forman una maraña encima de la superficie del suelo o a nivel subterráneo (rizomas) a una profundidad de 2,5 a 10 cm. El carácter rizomatoso lo demuestra a través de raíces fibrosas en cabellera, caulinares o adventicias. Los carbohidratos almacenados en sumideros como los estolones son usados para el recrecimiento después del corte. Cuando los tallos son cortados en pequeñas piezas, cada sección es capaz de producir nuevos estolones y raíces en los nódulos. El pasto kikuyo expresa una rápida capacidad de renovar su área foliar cuando se satisfacen sus requerimientos de luz, agua y nutrientes (Mears, 1970)

Las inflorescencias del pasto kikuyo, son pequeñas panículas blancas o bronceadas que no nacen en la base del tallo como en otros pastos y están

encerradas dentro de las vainas de las hojas (Holm et al., 1977). La flor es pequeña, consistiendo de 2 a 4 espiguillas subsesiles. Las espiguillas son bisexuales o funcionalmente unisexuales. Cuando el pasto kikuyo florece, los estigmas emergen 1 a 3 días antes que los estambres de la misma flor. Los sacos de polen o anteras se extienden por encima de la superficie del césped en filamentos delgados blancos (estambres). La porción femenina de la flor (pistilo) y semillas son producidas bajo la superficie cortada de pasto. Las semillas pueden ser encontradas solo por disección en la vaina de la hoja (Holm et al., 1977). La semilla es larga (2 mm de largo), marrón oscura y con una gran cicatriz en la base (Mears, 1970).

CALIDAD Y PRODUCCION DE LA GRAMINEA

El pasto kikuyo es un forraje usado para la producción de leche. Sometido a malos manejos reduce su producción y entra en un estado de degradación debido a la influencia de factores asociados al suelo y a la pradera como la pérdida de fertilidad, el deterioro de las propiedades físicas del suelo, el sobrepastoreo, la invasión de malezas, el daño de insectos (plaga), el ataque de microorganismos patógenos y el efecto perjudicial de factores abióticos como el déficit hídrico y la incidencia de heladas (Spain y Gualdrón 1988, Hernández 1992). La calidad del kikuyo cambia por causa del mal abonamiento que ocasiona el acolchonamiento impidiendo la respuesta a la aplicación de fertilizante y riego. En distintos estudios en este pastizal se ha reportado que el grado de corte y la frecuencia inciden en la calidad del forraje a nivel de digestibilidad y proteína cruda (Betancourt 1994, Fulkerson y Slack 1999).

Algunos autores destacan cambios en la producción por influencia de las condiciones ambientales. Whitney (1974) reporta que la producción de materia seca del kikuyo disminuye a medida que decrece la temperatura mínima promedio del suelo y aumenta conforme la radiación solar promedio se hace mayor. Esta autor encuentra que el contenido de proteína

cruda en el kikuyo declina con el aumento de la temperatura mínima promedio del suelo y del aire y que el calentamiento del suelo promueve el crecimiento de las partes aéreas y raíces. Medina (1980) señala que la producción de materia seca y la tasa de crecimiento de Kikuyo fue menor cuando declinó la temperatura, precipitación y horas diarias de sol. Machado (2000) indica que la producción de materia seca decrece a medida que disminuye durante el año la temperatura media del aire aunque el contenido en porcentaje de proteína cruda aumenta.

USO EN PRODUCCION ANIMAL

El pastizal bien manejado y fertilizado apropiadamente es capaz de producir forraje con alta calidad, con altos niveles de consumo, energía digestible, proteínas y minerales. Al respecto, el pasto Kikuyo da un excelente forraje cuando se utiliza tierno, preferentemente antes de los 40 cm de altura. Puede producir hasta 20 Tn. de heno de buena calidad. 8.000 – 10.000 Kg/corte de materia verde por Ha. Manejado con rotación de potreros y fertilización puede soportar una carga animal de 3 a 4U.A/Ha/año. Tiene buena resistencia al pastoreo permanente, pero si se cultiva asociado con leguminosas resulta conveniente darle periodos de descanso entre 20 y 40 días. El pasto kikuyo es compatible con la alfalfa (*Medicago sativa*) (Dávila, 1989) y con Trébol blanco (*Trifolium repens*) (Mears, 1970). Por otra parte, mantiene altos niveles de proteína cruda digestible (Milford y Haydock, 1965) y de materia orgánica digestible (Holder, 1967). En este sentido, Reeves et al., (1996) han mostrado que la materia orgánica, digestibilidad y los niveles de proteína y algunos minerales son maximizados cuando el kikuyo es cortado a 42 hojas por vastago

FERTILIZACION

El monitoreo del nivel de nutrientes del suelo es importante para mantener una alta producción y densidad de población de plantas. El pasto kikuyo tiene una buena respuesta a fertilizantes fosforados y a la aplicación de nitrógeno con lo cual eleva marcadamente los porcentajes de proteína cruda, así como mejora sustancialmente la carga animal (Holm et. al., 1977). Distintos investigadores reportan importantes aumentos en el rendimiento de kikuyo al aumentar los niveles de nitrógeno (Mears y Humphreys 1974, Dávila y Chaverra, 1987). En los Andes venezolanos, Monzón (1977) y Benítez (1981) recomiendan aplicaciones de nitrógeno de 920Kg/ha y 184Kg/ha, respectivamente, distribuidas en varias dosis. No obstante, Machado (2000) obtiene que la producción de kikuyo no cambio con la aplicación de diferentes niveles de nitrógeno, pero para cada uno de estos niveles la aplicación combinada con fósforo y potasio causó un cierto aumento en los rendimientos, particularmente por efecto del potasio. Mila y Corredor (2002) en una pradera de kikuyo a 2.600 m.s.n.m en Colombia destacan que con niveles mayores de compost se posibilita una mayor duración de la biomasa.

En la región Andina venezolana, Monzón (1977) ha recomendado aplicaciones de 24Kg de P_2O_5 /ha año y 12Kg de K_2O /ha año para su mantenimiento. Benítez (1981) sugiere aplicaciones de 60Kg de P_2O_5 /ha y 85Kg de K_2O /ha. Respecto al efecto de la fertilización con fósforo, se han informado de aumentos moderados en los rendimientos del pasto debido a la aplicación de fertilizantes a base de este elemento (López y González, 1985). En las zonas templadas, Fulkerson et al. (1998) reportan en primavera un descenso del fósforo y una elevación en el contenido de calcio resultando en un alto radio Ca:P (2,5:1).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acevedo, D. 1988. Economía hídrica de dos agroecosistemas tropicales: una pastura permanente y un cultivo de maíz. Tesis Licenciatura. Fac. Ciencias. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 163p.
- Ataroff, M. 2001. Venezuela. Bosques nublados del neotrópico. En: Kappelle, M y A. Brown. (eds). Editorial INbio Costa Rica. pp. 397-442.
- Ataroff, M. 2003. Selvas y bosques de montaña. En Aguilera M, Azocar A, González- Jiménez E (Eds). Biodiversidad en Venezuela. Vol. II. Fundación Polar –FONACIT. Caracas, Venezuela. Pp. 762 - 811
- Ataroff, M., y Monasterio, M. 1987. Cambios ecológicos producto de cambios tecnológicos en sistemas cafetaleros de los Andes venezolanos. En: Liberman, M y C. Baied (eds). Desarrollo sostenible de ecosistemas de montaña: manejo de áreas frágiles en los Andes. UNU, La Paz, Bolivia.
- Ataroff, M. y Rada, F. 2000. Deforestation impact on water dynamic in a Venezuelan andean cloud forest. *Ambio* 29 (7): 440 -444.
- Ataroff, M. y Sánchez, L. 2000. Precipitación, intercepción y escorrentía en cuatro ambientes de la cuenca media del río El Valle, estado Táchira, Venezuela, *Rev. Geográfica Venezolana* 41 (1)
- Ataroff, M. y Schwarzkopf, T. 1992. Leaf production, reproductive patterns, field germination and seedling survival in *Chamaedorea bartlingiana*. a dioecious understory palm. *Oecologia* (Berlin) 92: 250 – 256.
- Benítez, J.F. 1981. Manejo del pasto kikuyo. Hojas divulgativas del programa de ganadería de altura (PROGAL), 1,2,3,4.
- Betancourt, A. 1994. Estudio de un sistema de producción lechero basado en ganado Holstein pastoreando Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en los Andes venezolanos. Tesis de Magister Scientiarum. Postgrado en Producción animal. Facultad de Agronomía y ciencias veterinarias, U.C.V., Maracay, Venezuela. 103p.
- Bono, G., 1996. Flora y vegetación del estado Táchira, Venezuela. Monografía XX, Museo Reg. Scienze Naturali, Torino. 951p.
- Bruijnzeel, L.A., 1990. Hydrology of moist tropical forest and effects of conversión. A state of knowledge review. UNESCO International Hydrological Programme, Paris, 224p.
- Bruijnzeel, L.A. y Hamilton, L.S. 2000. Decision time for cloud forest. IHP humid tropics programme series. No 13, IHP – UNESCO, Paris, IUCN – NI, Amsterdam and WWF International, Gland, 44p.
- Cavelier, J.,1996. Environmental factors and ecophysiological processes along altitudinal gradients in wet tropical mountains. En S.S Mulkey, R.L. pp 399-439.

- Cavelier, J. y Goldstein, G., 1989. Mist and fog interception in elfin cloud forest in Colombia and Venezuela. *Journal of Tropical Ecology* 5: 309-322.
- Dale, A. 1976. Kikuyo's role as a pasture species Queensland Agricultural journal. Vol. 1 p. 4. Enero – febrero. Inglaterra.
- Dávila, C. 1989. La alfalfa en los Andes. *Temas Agropecuarios*, 2(2): 2 – 5.
- Dávila, S.V y Chaverra, G. 1987. Kikuyo. En: establecimiento y manejo de pastos y forrajes. TOA No134. Bogota, Colombia. pp 146 – 153
- Fonseca, H. y Ataroff, M. 2005. Dinámica hídrica en la selva nublada de la cuenca alta del río Cuisiana y un pastizal de reemplazo, cordillera Oriental, Colombia. Ataroff, M. y J. F. Silva (eds). *Dinámica hídrica en sistemas Neotropicales*. ICAE, Univ. Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Foy, C.D., 1988. Plant adaptation to acid aluminum toxic soils. *Commun. Soil sci. Plant Anal.* 19: 959 – 987.
- Fulkerson, J.W., Slack, K. Hennessy, W.D. y Hough, M.G. 1998 Nutrients in ryegrass (*Lolium* spp.), white clover (*Trifolium repens*) and kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pastures in relation to season and stage of regrowth in a subtropical environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38(3) 227 – 240
- Fulkerson, J.W. y Slack, K. 1999. The effect of defoliation interval and height on growth and herbage quality of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*). *Tropical grasslands*. Sept. 33(3): 138 -145.
- Hernández, O., Pérez, J., Martínez, P., Herrera, J., Mendoza, G. y Hernández, A., 2000. Pastoreo de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst) por borregos en crecimiento con diferentes asignaciones de forraje. *Agrociencia* 34: 127 – 134.
- Holm, L.G., Plucknett, D.L. Pancho, J.V. y Herbecer, J.E. 1977. The world's worst weeds, distribution and biology. Honolulu, HI: University press of Hawai. 609p.
- López, C.A. y Gonzáles, L. 1985. Respuesta del kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) a dosis crecientes de fósforo en un tepic dystrandep, bajo condiciones de invernadero. *Agronomía costarricense* 9: 93 – 97.
- Machado, D., 2000. Estudio sobre la aplicación de abono de gallina (gallinazo) para establecer la asociación de alfalfa (*Medicago sativa*) y Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). En: *Actas del III Congreso Latinoamericano de Ecología* Ed Jaime Péfaur. pp. 391 – 405
- Márquez, X., Norate, J., Reyes, L.M., Norato, A., Caro, A.M. 2001. Mecanismo fisiológico de respuesta a bajas temperaturas y a la aplicación de putrescina en kikuyo y falsa Poa.. *Viabilidad celular y deshidratación*. *Revista Comalfi*. Vol. XXVIII. N° 2. May – Ago.
- Mears, P.T. 1970. Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) as a pasture grass, a review. *Tropical grasslands*, 4(2): 139 – 152
- Mears, P.T. y Humphreys, L.R. 1974. Nitrogen response and stocking rate of *Pennisetum clandestinum* pastures. 1. Pasture nitrogen

- requirement and concentration, distribution of dry matter and botanical composition. *Journal of agricultural science*. Cambridge 83: 451- 467.
- Medina, I., 1980. Utilización del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) para la producción de leche en las zonas altas de los Andes. *Boletín Técnico del programa de ganadería de altura (PROGAL)*, 5: 1 – 26.
- Medina, E., 1986. Aspectos ecofisiológicos de plantas de bosques nublados de Rancho grande. En: O. Huber (ed). *La selva nublada de Rancho grande, parque nacional Henri Pittier*. Fondo editorial acta científica venezolana, Caracas. pp.189 – 196.
- Mila, A & Corredor, G., 2002. Análisis de la dinámica de crecimiento de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en pradera recuperada por escarificación mecánica y fertilización con compost. *Revista Comalfi, Volumen XXIX, Numero 2, agosto – Octubre*. pp. 12 – 22.
- Milford, R. y Haydock, K. 1965. The nutritive value of protein in soil tropical species grown in southeast Queensland. *Aust. J. Exp. Agric. And anim. Husb.* 5: 13 - 17
- Montgomery y Runger 1996. *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. Mc Graw Hill. México
- Monzón, G. 1977. Unidad de producción El Joque. *Boletín técnico del programa de ganadería de altura (PROGAL)*, 5: 1-26.
- Murtag, P. 1976. An irrigation pasture system Queensland *Agricultural Journal*. Vol. 1. pp. 9. Enero – febrero. Inglaterra.
- Murtagh, G.H., Hallingan, E.A. y Greer, D.H. 1987. Components of growth and dark respiration of kikuyu (*Pennisetum clandestinum* Hoscht ex chivo) at various temperatures. *Annals of Botany*, VOL. 59, P. 149 - 157.
- Pla, I., 1977. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. U.C.V. Facultad de agronomía. Instituto de Edafología. Maracay. Venezuela 112 p.
- Pearson, C.J., Kemp, H., Kirby, C.A., Laundess, E.T., y Mikled, C. 1985. Responsiveness to seasonal temperature and nitrogen among genotypes of kikuyu, Paspalum and Bermuda grass pastures of coastal New South Wales. *Aust. J. Exp. Agric.*, 25: 109-116.
- Pérez, U. y López, R., 2000. Estudio preliminar de la erosión hídrica en un inceptisol de los andes venezolanos bajo uso agrícola. *Rev. Forest. Venez.* 44(2): 11 – 19
- Reynolds, K., 1976. An irrigated pasture system. *Queensland Agricultural Journal*. Vol. I. pp. 9. Enero – febrero. Inglaterra.
- Reeves, M., Fulkerson, W.J. y Kellaway, R.C. 1996. Forage quality of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*): The effect of time of defoliation and nitrogen fertiliser application and in comparison with perennial ryegrass (*Lolium Perenne*) *Aust. J. of Agric. Res.*, 47; 1349 – 1359
- Russel, J.S. y Webb, H.R. 1976. Climatic range of grasses and legumes used in pastures. *J. aust. Inst. Agr. Sci.* 42: 156 – 163.

- Spain, J.M. y Gualdrón, R. 1988 Degradación y rehabilitación de pastos.
In: VI Reunión del comité asesor de la RIEPT. Memorias. Red Internacional de evaluación de pastos Tropicales. Veracruz. México. CIAT. P. 269 – 283.
- Romero, E., 1980. Efecto de la fertilización nitrogenada (orgánica – inorgánica) sobre la relación suelo – planta, usando como cultivo a la papa variedad “Alfa” en la región de los Andes. Tesis de maestría. CIDIAT, Mérida. pp. 25 – 35.
- Salamanca, R., 1986. Producción y manejo. Universidad Santo Tomás. 7ed. pp.126-130.
- Sánchez, J. y Davis, F., 1969. Growth inhibitors in Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) as factor of its competitive ability. [Abstract] I Semm. Soc. Colomb. De control de malezas y fisiología vegetal (COMALES). pp. 23-24, 58 – 59.
- Sarmiento G., Monasterio M., Castellano E., Azócar A. & Silva, J.F. 1971. Vegetación natural de las cuencas del Chama y Capazón, Estado Mérida. Instituto de Geografía y conservación de los recursos naturales. ULA. Mérida. 84pp.
- Smith, C.W., 1985. Impact of alien plants on Hawaii's native biota. En: C. P Stone and J. Michael Scott. (eds). Hawaii's terrestrial ecosystems: preservation and management. Cooperative national park resources studies unit. University of Hawaii, Manoa. pp. 197 -198.
- Stebbins, L.G., 1972. The evolution of the grass Family. In: The biology and utilization of grasses. Edited by Youngner, B.V., & McKell, M.C. New York. pp 1- 14
- Steinhard, U., 1979. Untersuchungen über den Wasser- und Nährstoffhaushalt eines andinenwolkenwaldes in Venezuela. Göttinge – Bodenkundliche Berichte 56: 1 – 185.
- Soil Survey Staff. 1998. Keys to soil taxonomy. 8th Edition. Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture, Washington D.C., USA.
- Tulet, J. y Ataroff, M. 1984. La evolución hacia pequeñas propiedades en la sociedad de la cuenca del río El Molino (pueblos del sur, estado Mérida). Publicaciones del postgrado en ecología Tropical. Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida. 41p.
- Veillon, J., 1994. Especies forestales autóctonas de los bosques naturales de Venezuela. Ed. Instituto Forestal latinoamericano, Mérida, Venezuela.
- Whitney, A.S. 1974. Growth of Kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) under clipping. I. Effects of nitrogen fertilization, cutting intervals and season on yield and forage characteristics. Agronomy Journal, 66: 282 – 287.
- Wilén, C.A. y Holt, J.S., 1996. Physiological mechanisms for the rapid growth of *Pennisetum clandestinum* in mediterranean climates. Weed research 36: 213 – 225.

CAPITULO 1
RELACIONES HIDRICAS E INTERCAMBIO DE
GASES EN *Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov BAJO
DISTINTAS CONDICIONES DE DISPONIBILIDAD DE
AGUA

1. INTRODUCCION

En la región Andina venezolana la ganadería se ha extendido ampliamente alcanzando mayores niveles altitudinales. Unidades ecológicas como las selvas nubladas han cedido espacio al establecimiento de pastizales constituidos por gramíneas altamente competitivas y productivas de tipo C₄ adaptadas favorablemente a las condiciones ambientales de este sistema natural (Posada et al. 2000). *Pennisetum Clandestinum* (pasto kikuyo) es una especie perenne nativa de África tolerante a la sombra, fuego, heladas, corte, inundación, sequía severa y sobrepastoreo (Dale 1976, Bernale 1986, Márquez et al. 2001). Al respecto, los mecanismos de tolerancia están basados en ciertas características morfológicas como la localización de meristemas en la base de la planta, el hábito postrado y el desarrollo de estolones, los cuales tienen una importante implicación en su persistencia (Hodgkinson y Williams 1983). El pasto Kikuyo constituye uno de los pastos con mayor producción de leche por unidad de superficie en la región alta de los Andes Venezolanos (Malave y Marín 1985). Entre sus atributos se encuentra la gran adaptabilidad a las condiciones del medio ambiente (suelo, precipitación y temperatura), productividad y buenas características agronómicas como alta relación hoja/tallo, rápida recuperación después del corte o pastoreo, facilidad de propagación, alto poder competitivo con las malezas, resistencia a plagas y enfermedades, palatabilidad y alto valor nutritivo (Bernale 1986, Dávila y Chaverra, 1975).

Uno de los más importantes factores que limita la productividad e influye en los aspectos ecofisiológicos, tales como el intercambio de gases y principalmente en las relaciones hídricas es el déficit hídrico. La respuesta del pastizal al déficit hídrico está frecuentemente cuantificada en relación al

agua disponible en el suelo. En adición, la conservación del agua resulta primordial para la permanencia de este sistema. El agua actúa como solvente primario transportando gases, minerales y otros materiales a las células y translocándolos a varias partes. El estrés hídrico está frecuentemente acompañado por otros factores limitantes tales como la alta temperatura, déficit de presión de vapor, reducción de nutrientes e irradiación (Taiz y Zeiger, 2002; Tester y Bacic 2005). La combinación de estos factores favorece la fotoinhibición, la cual limita la capacidad fotosintética (Bjorkman y Powles 1984).

Las condiciones de estrés hídrico conducen a diferentes niveles inhibitorios en relación a su severidad. Ciertas respuestas al estrés como la senescencia foliar y la reducción en los valores de conductancia estomática, transpiración, asimilación de CO₂ y la tasa de crecimiento (Ng et al., 1975; Torres 1984, Jones y Lazenby 1988, Chaves 1991) contribuyen a disminuir el uso de agua y a prolongar su duración en el suelo. La mortalidad y pérdida del follaje conducen a una menor superficie asimilatoria y limitan la transpiración (Winkel et al. 2001). En un estudio de varias especies de *Braquiaria* (*B. mutica*, *B. brizantha*, *B. humidicola* y *B. decumbens*) en suelos con bajo potencial hídrico se encontraron diferentes resultados: aumento en la tasa de senescencia de láminas foliares, control estomático en el intercambio de gases, una reducción de fotosíntesis y un efecto de disminución en producción de biomasa foliar (Schirmer de Mattos et al. 2005). Respuestas de cierre estomático han sido reportadas para *Panicum maximum*, *Hyparrhenia rufa*, *Melinis minutiflora* y *Trachypogon plumosus* cuando el potencial hídrico alcanzó valores bajo -1.0 MPa (Jones et al. 1980; Sheriff y Ludlow 1984; Ludlow et al. 1985; Baruch et al. 1985). Algunos autores (McCree 1974, Ludlow, 1980) establecen que en plantas sujetas a frecuente o larga sequía, los estomas son capaces de permanecer abiertos a bajos potenciales hídricos y cuando se rehidratan se recuperan más rápidamente que plantas sin una historia de estrés hídrico. Doley y Trivett (1974) encontraron en *Astrelba lappacea* una notable recuperación

del intercambio de gases después de una sequía severa, durante la cual los potenciales hídricos descendieron a muy bajos valores. Otras especies como *Leptocoryphium lanatum*, *Trachypogon vestitus* e *Hyparrhenia rufa* presentan un ajuste estomático (cierre parcial de los estomas) que restringe la transpiración cuando el déficit hídrico es severo, situación que no previene completamente la pérdida de agua (Torres 1984). En condiciones de sequía, la respuesta estomática puede estar asociada a déficit de saturación atmosférica y déficit de humedad específico (Black & Squire 1979, San José et al., 1998).

Aunque los efectos del déficit hídrico a nivel de intercambio de gases han sido ampliamente estudiados en pastizales (Bittman y Simpson 1989, Páez y González 1995, Schirmer de Mattos et al. 2005), pocos experimentos han evaluado la respuesta ecofisiológica del pastizal *P. clandestinum* en estas condiciones (Wilén y Holt 1996). En el presente estudio se simuló la remoción de biomasa aérea experimentada a diferentes intensidades de pastoreo mediante un método mecánico de corte realizado en dos distintas alturas: 10 cm (pastoreo moderado) y 5 cm (pastoreo intensivo), con el fin de analizar el comportamiento ecofisiológico expuesto por el pastizal *P. clandestinum* en los procesos de intercambio gaseoso. En esta investigación se evaluó el efecto de la disponibilidad de agua en el suelo en la respuesta de las variables ecofisiológicas como conductancia estomática, transpiración, asimilación de CO₂ y potencial hídrico medidas en el período húmedo y seco.

HIPOTESIS

Al nivel de sistema, se espera que la reducción de área foliar con el incremento del corte favorezca la apertura estomática y asimilación de CO₂. En este caso los pastizales con corte presentaran una mayor disponibilidad de agua por unidad de área foliar con relación al pastizal sin corte. El

desarrollo de la sequía tendría un menor efecto sobre los procesos de intercambio de gases en los tratamientos con corte.

OBJETIVOS

General

Evaluar la respuesta ecofisiológica exhibida por *Pennisetum clandestinum* en un ambiente de selva nublada montano baja en un período húmedo y seco.

Específicos

- ✕ Determinar el intercambio de gases (transpiración, asimilación de CO₂, conductancia estomática) de *P. clandestinum* bajo diferentes condiciones de agua en el suelo.
- ✕ Caracterizar el microambiente del pastizal *P. clandestinum*, considerando variables como: temperatura, humedad y luz.
- ✕ Comparar mediante cursos diarios el estado hídrico de la especie en el período húmedo y seco.

MATERIALES Y METODOS

Las medidas de intercambio de gases, microclimáticas y de potencial hídrico foliar se efectuaron conjuntamente tanto en el período húmedo (18/11/2002 al 22/12/2002) como en el período seco (23/12/2002 al 13/03/2003). En el período húmedo las parcelas recibieron riego por aspersión durante 8 días, por una hora, debido a la escasez de las lluvias. Este aporte hídrico artificial se realizó desde el 4/12/2002 al 8/12/2002 y del 13/12/2002 al 15/12/2002. En el período seco las parcelas se cubrieron totalmente con un plástico transparente móvil para impedir la entrada de agua por precipitación, pero no el paso de luz solar. En este sentido, la

definición de sequía corresponde a falta de lluvia, no obstante, esta se mide en relación a un parámetro como la reducción en la humedad del suelo.

Con el fin de documentar bajo condiciones de campo los cambios diarios y estacionales en las características fotosintéticas y relaciones hídricas de *P. clandestinum* se hicieron 2 cursos diarios por cada período de variables microclimáticas, intercambio de gases y potencial hídrico foliar. Simultáneamente, se determinó de modo diario el contenido de agua en el suelo. Los cursos diarios se realizaron en el período húmedo el 20/11/2002 y 4/12/2002 y en el período seco el 5/03/2003 y 13/03/2003 (Anexo A). Al final se promediaron en cada período para mostrar las tendencias a lo largo del día de las distintas variables medidas. La información de estos cursos fue la utilizada para el cálculo de los promedios de las diferentes variables, así como para el análisis estadístico respectivo. Por otra parte, los cortes en las unidades experimentales a 10 cm y 5 cm de altura se realizaron el 16/11/2002, 2/12/2002 y el 3/01/2003.

A. Intercambio de gases

Durante el período húmedo y seco se realizaron en el campo cursos diarios a intervalos regulares a partir de la mañana hasta el atardecer (8:40 – 4:00) de variables microclimáticas y de respuesta de la planta. Para las mediciones de fotosíntesis, transpiración, conductancia estomática se utilizó un sistema portátil de intercambio de gases, operado en modo abierto (ADC LCA-4, Hoddesdon, R.U.), consistente en una cámara foliar, una unidad abastecedora de aire y un analizador de gases infrarrojo. En el modo abierto, el material foliar se coloca dentro de la cámara por la cual pasa un flujo de aire controlado, con concentraciones conocidas de vapor de agua y CO₂. Las determinaciones con el sistema de intercambio de gases se realizaron en tres individuos, en hojas completamente expandidas (dos hojas por cada planta), efectuando aproximadamente tres a cinco lecturas por cada lámina foliar.

Los cálculos de intercambio de gases fueron hechos de acuerdo con el modelo propuesto por von Caemmerer y Farquhar (1981).

Ecuaciones utilizadas para el cálculo de intercambio de gases (manual del fabricante LCA4 – ADC) corresponden:

1. Conversión de flujos molares a flujos volumétricos

El LCA-4 mide los flujos de aire utilizando flujímetros de masa, así, los flujos medidos son flujos molares

1. Flujo volumétrico de aire

$$V = u * V_{m20} * (273 + T_{ch}) / 293 * p * 60 \text{ (unidades: ml min}^{-1}\text{);}$$

donde: V: flujo volumétrico de aire

V_{m20} : Volumen de 1mol de aire a 20 °C y 1 bar (m^3)

T_{ch} : temperatura de la cámara foliar (°C)

P: presión ambiental (bar)

2. Flujo molar de aire por m^2 de superficie foliar:

$$u_s = u / \text{área}$$

donde: u: flujo molar de aire ($mol s^{-1}$)

área: área foliar proyectada (m^2)

3. Tasa de transpiración:

$$E = u_s * \Delta W$$

Donde ΔW : diferencia de concentración de vapor de agua (vapor de agua que entra y sale de la cámara; $mol mol^{-1}$) (efecto de dilución por transpiración, corregido)

u_s : flujo molar de aire hacia dentro de la cámara por m^2 de área foliar ($mol m^{-2} S^{-1}$)

4. Resistencia estomática al vapor de agua

$$r_s = (W_{hoja} - W_{an}) / (\Delta W * u_s) - r_b$$

donde: W_{hoja} : Concentración de vapor de agua a saturación a la temperatura de la hoja (mol mol^{-1}); $W_{\text{hoja}} = e_s/p$

e_s : presión de vapor a saturación a la temperatura de la cámara foliar (mbar)

p : presión atmosférica (mbar)

ΔW : diferencia de concentración de vapor de agua a través de la cámara foliar (mol mol^{-1})

W_{an} : concentración de vapor del vapor de agua que sale de la cámara (mol mol^{-1})

r_b = resistencia en capa limite al vapor de agua ($\text{m}^2 \text{s mol}^{-1}$)

u_s = flujo molar de aire por m^2 de área foliar ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

5. Conductancia estomática al vapor de agua:

$$K_s = 1/r_s (\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$$

donde: r_s :resistencia estomática al vapor de agua ($\text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{mol}^{-1}$)

6. Tasa fotosintética (tasa de intercambio de CO_2 en la cámara foliar):

$$A: u_s * \Delta C (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$$

donde: ΔC diferencia en la concentración de CO_2 a través de la cámara ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)

u_s : flujo molar de aire por m^2 de área foliar ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

B. Potencial hídrico foliar

La condición hídrica de *P. clandestinum* se evaluó, midiendo la tensión del agua en el xilema, la cual es aproximadamente igual al potencial hídrico foliar (Ψ_f) (Taiz & Zeiger 1991). Los mismos días en que se hicieron los cursos diarios de intercambio de gases se realizaron cursos diarios de potenciales hídricos foliares, utilizando una bomba de presión de Scholander (PMS mod. 600, Corwallis, Oregon, E.U.A). El principio de operación de este instrumento, consiste en introducir tallos u hojas cortadas

en una cámara hermética, a los cuales se les aplica una presión positiva (gas nitrógeno) de manera tal que se venza la presión negativa (tensión) de la columna de agua que se encuentra en el sistema de conducción de la planta. La presión de nitrógeno es controlada mediante una válvula, hasta que sea lo suficiente para hacer retornar la columna de agua a la superficie cortada expuesta a la presión atmosférica. La medición de la presión de compensación se realiza en un manómetro integrado al aparato. En cada curso diario se midió el potencial hídrico foliar para tres individuos por tratamiento, al inicio de la mañana (potencial máximo), al mediodía (potencial mínimo) y en la tarde, al final de las mediciones de intercambio de gases.

C. Temperatura foliar

Se utilizaron termopares contruidos con dos metales diferentes (Tipo “T” cobre constantan), formando dos uniones, las cuales al estar a diferente temperatura generan un pequeño diferencial eléctrico que es proporcional al diferencial de temperatura que puede ser medido con la ayuda de un termómetro digital (OMEGA, mod. HH-23) para termopares. Se realizaron mediciones en dos individuos por tratamiento, paralelas a las mediciones de intercambio de gases. En referencia a la temperatura foliar (T_f), la unión de medición se colocó en la superficie abaxial de la hoja.

D. Variables microclimáticas

Durante cada curso diario se midieron: la humedad relativa (HR) utilizando un higrómetro digital (OMEGA mod. RH-200F) colocado en la base de la gramínea. La temperatura del aire medida con 2 termopares próximos a las plantas del estudio. La Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF) se determinó con un sensor cuántico ubicado en la cámara foliar del sistema de intercambio de gases.

E. Contenido hídrico del suelo

El contenido hídrico del suelo fue medido mediante el método gravimétrico (ver capítulo 2). En cada unidad experimental se recogió una muestra de suelo a primeras horas de la mañana y a una profundidad de 15cm durante los cuatro cursos diarios, es decir, cuando se realizaron las mediciones ecofisiológicas.

Todas las muestras de suelo contenidas en envases metálicos herméticamente cerrados se llevaron al laboratorio para ser pesadas (peso fresco) en una balanza electrónica marca Mettler BB2400, un campo de pesada de 0- 2000g y con una precisión de lectura de 0,1g. Posteriormente el material se introdujo en una estufa a una temperatura de 110 ° C por un período de tres días hasta peso constante y nuevamente se pesó (peso seco) con el fin de determinar el porcentaje de humedad del suelo.

F. Área foliar, área foliar específica e índice de área foliar.

Para el parámetro del área foliar (AF) se seleccionaron 50 hojas por cada unidad experimental durante el período húmedo (1/12/2002) y el período seco (22/01/2003 y 15/03/2003) y posteriormente se determinó con un medidor de área foliar modelo Licor 3100. En el caso del área foliar específica el procedimiento fue similar aunque en este caso se seleccionaron 20 hojas al azar, las cuales se midieron individualmente y posteriormente se secaron durante 72 horas a 50°C, se calculó la relación entre el área de la hoja y el peso seco de la misma. Para el índice de área foliar (IAF) se midió el AF de 1 cuadrado de 10cm x 10cm en cada unidad experimental durante los meses de estudio. El índice de área foliar corresponde a la relación del área foliar por unidad de superficie del suelo. Las mediciones de IAF fueron comparadas con cálculos extraídos a partir de biomasa y área foliar, obteniéndose valores muy similares.

G. Análisis estadístico

El conjunto de datos de AF, AFE e IAF se analizó con el programa SPSS para establecer las diferencias entre tratamientos (sin corte, con corte a 5cm y 10cm de altura) y períodos. En el caso del AF se utilizó contrastes de hipótesis no paramétricas (prueba de Kruskal Wallis y Mann Whitney). La variable AFE e IAF se analizaron mediante el GLM aditivo, correspondiente a un diseño factorial con los tratamientos de corte y meses. La prueba de Kruskal – Wallis también se utilizó para determinar diferencias en el comportamiento ecofisiológico entre tratamientos. La comparación de parámetros ecofisiológicos y microclimáticos entre períodos se realizó mediante la prueba U de Mann Whitney. También se aplicó la prueba no paramétrica de Correlación de Spearman por período para determinar la relación entre las variables.

RESULTADOS

♦ Área foliar, área foliar específica e índice de área foliar.

Los datos promedio obtenidos en los tratamientos sin corte, con corte a 10 cm y con corte a 5 cm para el área foliar, área foliar específica e índice de área foliar del pastizal *P. clandestinum* se muestran en la Tabla 2.1. Estos datos corresponden a 14 días después de iniciado el período húmedo (1/12/2002) y 31 y 83 días después de iniciado el período seco (22/01/2003 y 15/03/2003, respectivamente). En el período húmedo (H), el área foliar del pastizal sin corte superó en 66% a los pastizales con corte. Existe una diferencia significativa entre los valores de AF observados en los diferentes meses (H=35,7, $p<0.001$), en donde el AF de diciembre fue significativamente superior al AF de enero y marzo (U= 73636,5 $p<0.001$ y U= 25773,5, $p<0.001$). Posteriormente, el área foliar decreció de modo

Tabla 2.1. Área foliar (AF: cm²), área foliar específica (AFE: g cm⁻²) e índice de área foliar (IAF) de *Pennisetum clandestinum* para los tratamientos sin corte, con corte a 10 cm y 5 cm de altura a los 14 días de iniciado el período húmedo (1/12/2002) y 31 (22/01/2003) y 83 días (15/03/2003) después de iniciado el período seco. Valores entre paréntesis corresponden al error estándar.

Mediciones	AF		AFE		IAF	
	Sc	10 cm	Sc	10 cm	Sc	10 cm
1/12/2002	4,59 (0,8)	1,56 (0,26)	213,7 (1,5)	224,8 (20,4)	5,87 (0,43)	3,24 (0,16)
22/01/2003	4,26 (0,35)	1,13 (0,5)	198,1 4,2	190,5 (9,1)	4,32 (1,67)	2,09 (0,3)
15/03/2003	3,31 (0,08)	1,07 (0,09)	126,9 (5,8)	117,7 (8,9)	1,89 (0,85)	1,22 (0,6)
						5 cm
						1,70 (0,06)
						1,34 (0,18)
						1,04 (0,13)

gradual conforme avanzó el período seco. En este caso, el pastizal sin corte excedió por más de 73 y 68% a los pastizales con corte en enero y marzo, respectivamente. No se encontraron diferencias significativas entre el AF de 5 cm y 10 cm ($U= 59011.5$, $p= 0,86$). El AF del pastizal sin corte resultó mayor que el de los pastizales con corte ($U= 3520.5$, $p<0.001$ y $U= 5577,0$ $p<0.001$).

Los resultados del área foliar específica mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p=0,01$) pero no a lo largo del período de estudio ($P=0.50$). El AFE del pasto de 5cm resultó significativamente mayor que la de 10 cm y sin corte ($p<0,05$). Al respecto, el AFE de 10 cm no difiere significativamente del pastizal sin corte ($p>0,05$). En el período húmedo (H), el pastizal con corte a 5 cm de altura superó en 20,2 y 16,1% a los pastizales sin corte y con corte a 10 cm de altura, respectivamente ($H = 52,84$ $p<0,05$). Este comportamiento no resultó tan claro a los 31 días de iniciado el período seco mostrando todos los tratamientos valores ligeramente menores a los registrados en el período húmedo y muy similares entre sí (aprox. 190 cm^2/g). Al final del período seco la reducción del área foliar específica resultó aun mayor y el pastizal con corte a 5 cm de altura excedió en 31,1 y 25,7% al pastizal sin corte y con corte a 10 cm, respectivamente. Las mediciones del índice de área foliar mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p<0,05$) y a lo largo del período de estudio ($P<0,05$). Las mediciones del período húmedo (H) muestran la superioridad del IAF del pastizal sin corte en más de 44 y 70% con respecto a los pastizales con corte a 10 cm y 5 cm, respectivamente. Este comportamiento 31 días después de iniciado el período seco resultó similar, en donde el pastizal sin corte superó en más del doble a los pastizales con corte. Al final del período seco, el pastizal sin corte resultó mayor en 35,4 y 44,9% a los pastizales con corte a 10 cm y 5 cm de altura, respectivamente. Las pruebas a posteriori indicaron que el IAF resultó mayor en diciembre que en los meses de sequía ($p<0,05$) y que el IAF de enero es mayor que el de marzo ($p<0,05$).

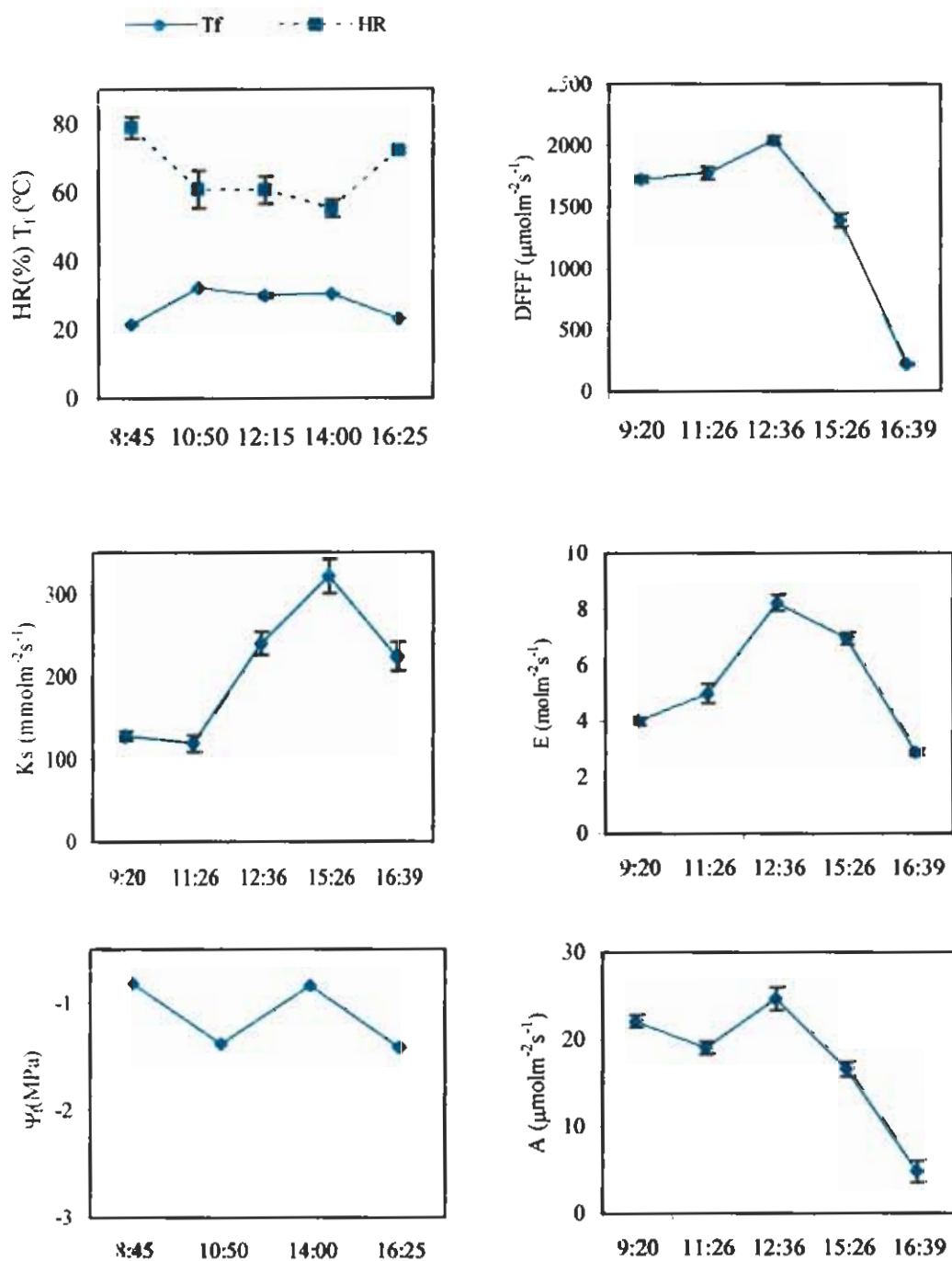


Figura 2.1 Curso diario del déficit de humedad relativa (HR), Temperatura foliar (T_l), densidad de flujo fotonico fotosintético (DFFF), conductancia estomática (K_s) y Transpiración (E), potencial hídrico (Ψ_l) y asimilación de CO_2 (A) en *Pennisetum clandestinum*. Periodo húmedo (20/11/2002).

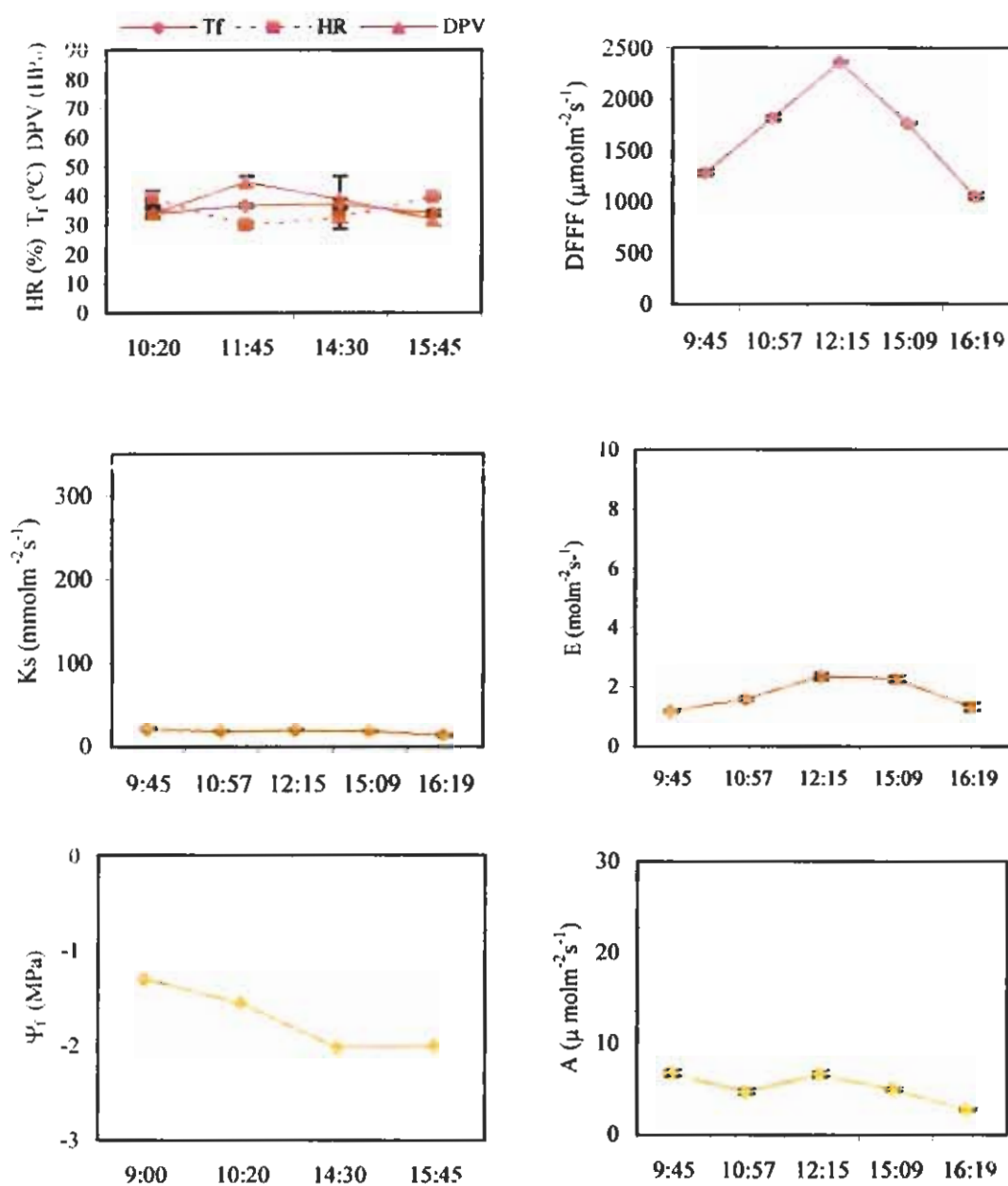


Figura 2.2. Curso diario del déficit de presión de Vapor (DPV), Humedad relativa (HR), Temperatura foliar (T_f), densidad de flujo fotonico fotosintético (DFFF), conductancia estomática (K_s) y Transpiración (E), potencial hídrico (Ψ_f) y asimilación de CO_2 en *Pennisetum clandestinum*. Periodo seco (5/03/2003).

◆ **Cursos diarios de parámetros ecofisiológicos y microclimáticos.**

En el presente estudio, los parámetros de intercambio de gases medidos en *P. clandestinum* no mostraron algún patrón claro entre tratamientos al analizarse de manera estadística (Anexo B). Con base en este aspecto, los valores fueron agrupados descartando el efecto de corte y comparados por período. Los valores promedios de las variables ecofisiológicas y microclimáticas por hora en el período húmedo y seco en *P. clandestinum* son mostrados en las figuras 2.4 y 2.5. Los cursos diarios por hora de asimilación de CO₂ (A), conductancia estomática (Ks), Potencial hídrico (Ψ_f), densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF), temperatura foliar (T_f), transpiración (E), eficiencia intrínseca en el uso del agua (A/Ks), Humedad relativa (HR) y contenido de humedad relativo en el suelo (CHs) realizados el 20/11/2002 y 4/12/2002 (período húmedo) y el 5/03/2003 y 13/03/2003 (período seco) son presentados en el anexo C. Las tasas promedio y máxima de estos parámetros ecofisiológicos y microclimáticos para cada una de estas mediciones se registran en las tablas 2.2 y 2.3.

Los valores de DFFF medidos en el período húmedo y seco permanecieron por encima de 1000 μmolm⁻²s⁻¹. Las mediciones promedio y máximas de DFFF por período no mantuvieron una constancia debido a la influencia de las nubes que atenuó su intensidad (Tabla 2.2 y 2.3). La máxima DFFF incidente y temperatura foliar se detectó al mediodía (Figuras 2.1 y 2.2). Estas dos variables describieron un patrón similar aumentando de manera gradual hasta cerca del mediodía y disminuyendo posteriormente. La temperatura foliar resultó significativamente diferente entre los períodos (Mann Whitney U_{0,05} (22,12) = 260.5 p < 0,0001). Las mediciones promedio y máxima de temperatura foliar realizadas en el período húmedo permanecieron por el orden de 28 °C y 34 °C. En el período seco estos valores resultaron por encima de 31 °C y 36 °C (Tablas 2.2 y 2.3).

Los valores más bajos de humedad relativa ocurrieron al mediodía (período húmedo) y primeras horas de la tarde (período seco), mostrando un comportamiento opuesto a la

Tabla 2.2. Datos promedio de parámetros ecofisiológicos y microclimáticos para *P. clandestinum* durante los cursos realizados el 20/11/2002, y 4/12/2002 (período húmedo) y 5/03/2003 y 13/03/2003 (período seco) con su respectivo error estándar en paréntesis. DFFF ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$), Ks ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$), E ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$), A ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$), A/Ks ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}/\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$), Ψ_f (MPa), T_f ($^{\circ}\text{C}$), HR (%) y CHs (%).

Mediciones	DFFF	Ks	E	A	A/Ks	Ψ_f	T_f	HR	CHs
20-Nov	1449,61 (38,0)	207,17 (7,8)	5,49 (0,1)	17,80 (0,5)	0,12 (0,01)	-0,66 (0,09)	27,83 (0,73)	64,01 (1,86)	33,32 (1,6)
4-Dic	1067,7 (61,64)	315,88 (12,76)	5,34 (0,22)	16,81 (0,74)	0,06 (0,004)	-0,48 (0,05)	28,23 (1,65)	62,76 (4,25)	25,26 (1,9)
5-Mar	1654,21 (36,23)	18,66 (0,46)	1,77 (0,06)	5,28 (0,16)	0,29 (0,01)	-1,81 (0,08)	35,65 (0,62)	35,50 (1,50)	24,08 (0,59)
13-Mar	1127,16 (44,0)	13,51 (0,3)	1,16 (0,04)	4,07 (0,1)	0,31 (0,01)	-1,70 (0,06)	31,93 (1,06)	41,6 (1,03)	24,60 (0,95)

temperatura foliar. La humedad relativa resultó significativamente diferente entre periodos (Mann Whitney $U_{0,05}(34,12) = 1,0$ $p < 0,0001$). De acuerdo a los datos expuestos en la Tabla 2.2 se pudo apreciar que los valores promedio de humedad relativa para noviembre y diciembre fueron muy similares. En contraste, la humedad relativa promedio y máxima del 13/03/2003 incrementó por cerca de 6% con respecto al 5/03/2003. En general, la declinación en humedad relativa ocurrió en más de 20% en el período seco con respecto al período húmedo. Por otra parte, en el período seco el aumento del DPV a mitad del día coincide con una alta DFFF y una baja HR. Cambios en la temperatura del aire y déficit de presión de vapor (DPV) fueron registrados en el período seco (Apéndice A). La temperatura del aire promedio mostró valores por encima de 30 °C, excediendo aquellos reportados en temperatura foliar. Un ligero aumento en el promedio de DPV se evidenció el 5/03/2003 con respecto al 13/03/2003. Este comportamiento también continuó en los valores máximos.

El máximo valor promedio diario de K_s en el período húmedo y seco contrastó ocurriendo en el primero a mediados de la tarde y en el segundo a mediados de la mañana. La reducción gradual del agua del suelo y posterior recuperación en el período seco (figura 2.10) no condujeron a un aumento en la apertura estomática declinando 93,2% con respecto a la mayor K_s del período húmedo (Figura 2.1 y 2.2). La K_s resultó significativamente diferente entre los periodos (Mann Whitney $U_{0,05}(476,341) = 640$ $p < 0,0001$). En el período seco, la K_s estuvo correlacionada de cierto modo a la transpiración ($r_s = 0,66$) y asimilación de CO_2 ($r_s = 0,57$). En el caso de los valores promedio de K_s , la medida de noviembre presentó un decrecimiento notable en comparación a diciembre (Tabla 2.2). Los datos máximos resultaron considerablemente mayores con respecto a los valores promedio. Así, en noviembre el valor máximo resultó casi 5 veces mayor al promedio mientras que en diciembre este aumento fue más del doble. En las dos mediciones de marzo la K_s promedio decreció considerablemente en un 90% con relación al período húmedo debido a la regulación estomática.

Los datos de Asimilación de CO_2 siguieron un comportamiento diferente en los dos periodos (Mann Whitney $U_{0,05}(482,341) = 74033$ $p = 0,015$). La DFFF estuvo

Tabla 2.3. Valores mínimos de Ψ_f (MPa) y máximos de parámetros ecofisiológicos y microclimáticos medidos en el pastizal *P. andestinum* durante los cursos diarios de días típicos del período húmedo y seco (20/11/2002, 4/12/2002, 5/03/2003 y 13/03/2003). DFFF ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Ks ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), E ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), A ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), A/Ks ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}/\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), T_f ($^{\circ}\text{C}$), HR (%) y CHs (%).

Mediciones	DFFF	Ks	E	A	A/Ks	Ψ_f	T_f	HR	CHs
20-Nov	2303,7	1050	11,34	39,63	0,75	-1,05	33,6	82,8	37,94
4-Dic	2222,7	749,06	10,35	32,72	0,30	-0,72	33,8	76,4	30,76
5-Mar	2379	31,96	3,30	10,15	0,49	-2,03	39,2	42,8	25,19
13-Mar	1793,7	23,25	1,92	7,67	0,57	-1,98	36,2	47,1	27,05

correlacionada con la asimilación de CO_2 en el período húmedo ($r_s = 0,66$) más no así en el período seco ($r_s = 0,31$). Considerando los valores reportados hasta el mediodía en ambos períodos fue posible evidenciar que la A disminuyó más de cuatro veces en el período seco con respecto al período húmedo. Los datos de la actividad promedio y máxima de asimilación de CO_2 se muestran en la tabla 2.2 y 2.3. La asimilación de CO_2 promedio y máxima registrada en noviembre resultó ligeramente mayor a la medida en diciembre. En el período seco, la tasa de A promedio resultó tres veces más baja que en el período húmedo. Según se aprecia en la tabla 2.3, las tasas de CO_2 máximas exhibieron ganancias puntuales de casi el doble con respecto a los promedios.

La pérdida de agua por transpiración (E) resultó diferente entre los dos períodos (Mann Whitney $U_{0,05}(478,356) = 3070$ $p < 0,0001$). En ambos períodos, la tasa de transpiración incrementó substancialmente al mediodía. En el período húmedo el pico de transpiración ocurrió cuando aumentó la temperatura foliar y decreció la humedad relativa. El curso diario presentado por este parámetro coincidió de cierta manera con el descrito por la DFFF ($r_s = 0,53$ para el período húmedo y $r_s = 0,71$ para el período seco). El máximo valor de E reportado en el período seco fue 71,2% más bajo con respecto al período húmedo. La pérdida de agua por transpiración (E) resultó muy similar en noviembre y diciembre. Los resultados máximos de E mostraron un comportamiento similar a la K_s (Tabla 2.3). En el período seco, la pérdida de agua se redujo cuatro veces con respecto al período húmedo, circunstancia que se originó por la variación del estatus hídrico del suelo.

En ambos períodos, el potencial hídrico foliar (Figuras 2.1 y 2.2) presentó al comienzo de los cursos diarios el valor más alto. La diferencia entre los valores promedio más bajos (negativos) en el período húmedo y seco resultó entre casi el doble. Las mediciones de Ψ_f promedio realizadas dentro de cada período no presentaron un gran contraste. El potencial hídrico foliar

(Ψ_f) resultó significativamente diferente entre los dos períodos (Mann Whitney $U_{0,05}(59,53) = 45$ $p < 0,0001$). La menor disponibilidad de agua en el suelo afectó de modo claro al potencial hídrico foliar, el cual disminuyó durante el período de sequía en más del 60%. La relación entre la conductancia estomática (Ks) y el potencial hídrico foliar (Ψ_f) siguió un modelo exponencial resultando razonablemente significativa ($R^2 = 0,70$) para los valores de los cursos diarios del período húmedo y seco (Figura 2.3). En el período húmedo los valores de Ks se dispersaron notablemente. Por otra parte, los valores bajos de Ks comprendidos entre $7,4 - 26,54$ $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ se concentraron durante los momentos en que los potenciales hídricos fueron más negativos (inferiores a $-1,0$ MPa), situación representativa del período seco. Así, la respuesta de Ks estuvo asociada a la variabilidad del potencial hídrico foliar (Figura 2.3). La relación entre las variables Ψ_f vs HR y Ks vs HR no presentaron un patrón claro (Anexo C).

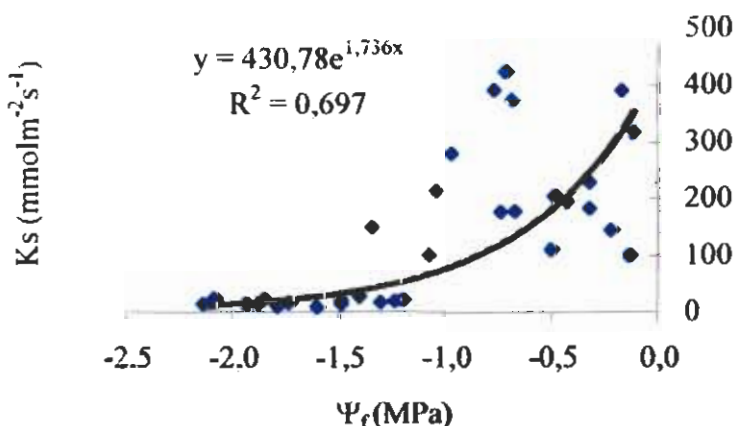


Figura: 2.3. Relación entre la conductancia estomática (Ks) y el potencial hídrico foliar (Ψ_f) agrupando los distintos tratamientos del pastizal kikuyo.

La eficiencia intrínseca en el uso del agua resultó significativamente diferente entre los dos períodos (Mann Whitney $U_{0,05} (454,326) = 136365$ $p < 0,0001$). El contenido de humedad del suelo declinó ligeramente en diciembre debido al efecto de días consecutivos sin lluvia aun cuando en este registro se inició la aplicación de riego por aspersión (Figura 2.4). Los valores promedio del período húmedo permanecieron por encima del valor de capacidad de campo (27,06%). Los valores máximos en este periodo superaron al 30%. En el transcurso del período seco, los valores promedio de contenido de humedad declinaron progresivamente hasta permanecer por debajo del punto de marchitez permanente (20,0%) excepto al final, en donde el ingreso de agua no aislada por la barrera plástica condujo a un aumento cercano al 24% (Figura 2.5).

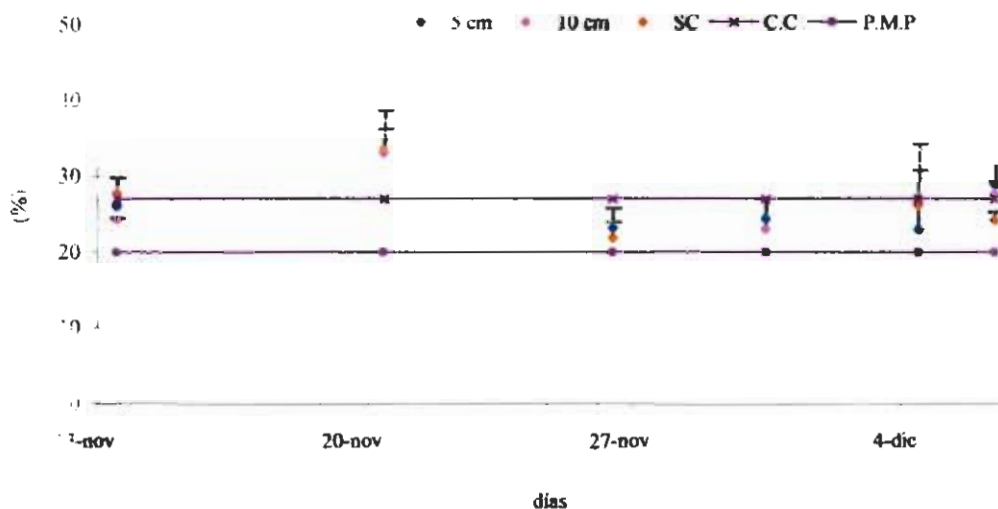


Figura 2.4. Contenido de humedad en porcentaje para los tratamientos a: pastizal sin corte (SC), pastizal con corte a 10 cm y 5 cm de altura durante el período húmedo de estudio (noviembre-diciembre 2002). CC: Capacidad de campo; PMP: Punto de marchitez permanente.

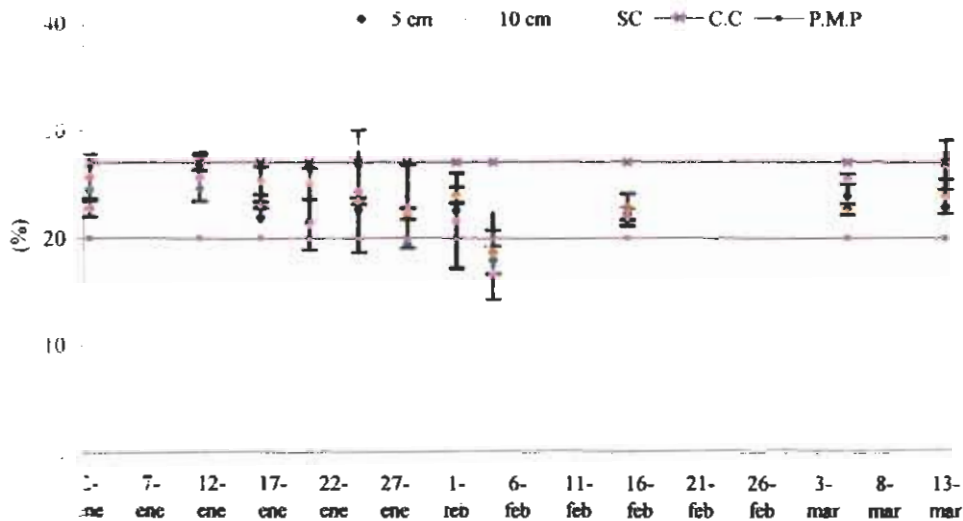


Figura 2.5. Contenido de humedad en porcentaje para los tratamientos de pastizal sin corte (SC), pastizal con corte a 10 cm y 5 cm de altura durante el período seco de estudio (diciembre – marzo del 2003, con cubierta plástica). CC: Capacidad de campo; PMP: Punto de marchitez permanente.

DISCUSIÓN

Distintas investigaciones en pastizales no documentan cambios en las respuestas a nivel ecofisiológico por efecto de la defoliación. Al respecto, Chacón-Moreno et al. (1993) no encontraron aumentos en la tasa fotosintética en laminas foliares después de 23 días de corte. En el presente estudio, el comportamiento ecofisiológico no presentó diferencias significativas entre tratamientos con corte. Esta respuesta pudo probablemente estar asociada a mecanismos de resistencia desarrollados por la adaptación evolutiva que surgió del efecto de presión de pastoreo de *P. clandestinum*, especie africana adaptada a fuertes condiciones ambientales y de herbivoría. Existen pruebas en donde la tasa de procesos fisiológicos siguiendo defoliación excedió la tasa de pre-defoliación. Resultados publicados en otros estudios han mostrado un aumento en la tasa de fotosíntesis (Gifford y Marshall 1973, Dyer et al. 1982, Nowak y Caldwell 1984, Wallace et al. 1984, Gold y Caldwell 1990, Chacón-Moreno

et al. 1993, Briske y Richards 1995, Cajas et al. 1998), reducción de la disponibilidad de carbono fotosintético (Wilson 1988, Coyne et al. 1995, Brueland et al. 2003), incremento en la eficiencia en el uso del agua (Chacon –Moreno et al. 1993), incremento en la actividad de la carboxilasa (Gifford y Marshall 1973), aumento en la conductancia foliar para asimilación de dióxido de carbono (Wallace et al. 1984) y una gran demanda de carbono siguiendo defoliación (Hodgkinson et al. 1972).

Una considerable fuente de información de gramíneas con variables metodologías y condiciones de cultivo corroboran el efecto negativo del déficit hídrico en los procesos fisiológicos (Doley y Trivett 1974, Ng et al. 1975, Ludlow y Ng 1976, Buldgen y Francois 1998, Schirmer de Mattos et al. 2005). En el periodo húmedo, la severidad del corte redujo significativamente el área de la lamina foliar y el índice de área foliar. El área de las láminas foliares decreció con la reducción de disponibilidad de agua en el suelo como un mecanismo de defensa a la sequía. En *Braquiaria decumbens* la disminución del área foliar ocurrió por un 31% en la estación seca (San José et al. 1997). Al respecto, Baruch (1994), Páez et al (1995) y Schirmer de Mattos et al. 2005 sugieren que la disminución del área foliar se refiere a un efecto del déficit hídrico sobre las tasas de elongación y senescencia foliar. Sambo (1981) reportó que la expansión foliar en *Phalaris acuatika* cesó cuando el potencial hídrico fue -1,5 MPa y no ocurrió ajuste osmótico. Lawlor (1972) encontró que con un potencial hídrico foliar de -1.6 MPa se detuvo la elongación foliar. En algunos casos, una fuerte declinación del potencial hídrico foliar no afecto la expansión foliar en gramíneas preacondicionadas a la sequía (Sambo 1981). En otros estudios distintos a las gramíneas se ha reportado que la tasa de expansión de hojas fue influenciada por el flujo de agua a través de la planta (Renquist et al. 1982).

El AFE es una de las principales variables que afecta el crecimiento de las plantas, por favorecer cambios en la razón del área foliar y en la eficiencia fotosintética en el uso de nitrógeno (Pérez et al. 2004). En el estudio, el área foliar específica del tratamiento con corte a 5 cm alcanzó un valor mayor, lo cual sugiere una reducción del espesor de la hoja o un decrecimiento de compuestos estructurales. Resultados similares han sido encontrados en *Panicum maximum* (Chacón-Moreno 1991). Este autor atribuyó tal respuesta a que se mantuvieron las laminas foliares más jóvenes, adquirieron un rápido crecimiento y no acumularon carbohidratos en las paredes celulares. En contraste, en pastos perennes Briske y Richards (1995) obtuvieron un incremento en masa foliar por unidad de área después de defoliación. En el pastizal Kikuyo, los valores de AFE estuvieron comprendidos entre 214 - 268 cm^2g^{-1} . Estos valores fueron más altos que los reportados en pasto mulato (*Braquiaria*, híbrido, cv.) (90-160 cm^2g^{-1}) (Pérez et al. 2004). En el período seco, la reducción del área foliar específica en más de 36% en los tratamientos podría interpretarse como una alteración en la estructura de la hoja (aumento en el espesor) o un incremento de carbohidratos no estructurales (Newton 1991, Wilen y Holt 1996) debido a la incapacidad de la planta, para asignar estos compuestos en crecimiento estructural (Bazzaz et al. 1987). El cambio en el espesor de la hoja pudo ser causado por un aumento en la cantidad de tejido de soporte o de tejido conductor en el mesófilo (Pérez et al. 2004). Al respecto, una menor AFE sugiere una mayor lignificación, menor tamaño celular y baja concentración de nitrógeno (Castro et al. 2000 y Pérez et al. 2004). El IAF del tratamiento sin corte resultó significativamente mayor a los tratamientos con corte. En el presente estudio, el valor del IAF fue similar al el medido durante la estación húmeda en *Brachiaria decumbens*, *Digitaria decumbens* y *Braquiaria brizanta* cultivar Arapoty, Marandu y Xaraes (4,0- 5,0; Acevedo 1988, San José et al. 1997, Castro et al. 2005). La fuerte declinación del IAF en los tratamientos sin corte y con corte en el período seco podría ser explicada por las modificaciones en las características estructurales del dosel (menor densidad

del follaje, número y tamaño de las hojas) debido a la menor disponibilidad de agua en el suelo. Schirmer de Mattos et al. (2005b) encontraron en especies de *Brachiaria* valores de IAF entre 1.52-2.95 bajo condiciones de déficit hídrico. Este resultado fue parecido al reportado en este estudio. Según Jones y Lazenby (1988) la modificación del IAF mediante el manejo influye en el comportamiento de variables ambientales como la temperatura foliar. En el periodo seco, la temperatura foliar aumentó y la humedad relativa declinó notablemente con respecto al período húmedo.

Los altos valores de conductancia estomática en el período húmedo mostraron que no ocurrieron restricciones fuertes de tipo estomático. Cavalier (1996) planteo en un estudio en selva nublada que el comportamiento de la K_s estuvo relacionado a cambios en la humedad relativa del aire. Otros estudios sugieren que los estomas responden más directamente al déficit de humedad específico del aire que al estatus hídrico de la planta y contenido hídrico del suelo (San José et al 1997). En el período seco, la conductancia resultó afectada por el estatus hídrico edáfico, situación que condujo a una menor apertura estomática. Schirmer de Mattos et al. (2005) reportaron en cuatro especies de *Braquiaria* altas correlaciones entre conductancia estomática y variables como transpiración, fotosíntesis neta y potencial hídrico foliar en un período de estrés; además de una declinación de la conductancia estomática con la disminución del potencial hídrico del suelo. Bajo esta última circunstancia, la conductancia estomática declinó por un orden de 46% con respecto a la condición de capacidad de campo mientras que en el presente estudio la reducción fue en un 93% cuando el potencial hídrico foliar se aproximó a -1,7 MPa.

Clary et al (2004) encontraron en *Brachypodium retusum* una conductancia estomática mayor en el periodo seco ($30-90 \text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) que la medida en este estudio. Resultados publicados de varias especies (*Lolium multiflorum*, *Dactylis glomerata*, *Festuca arundinacea* y *Elymus lanceolatus*) mostraron

que con valores de potencial hídrico foliar entre -1,0 a -2,5 MPa la conductancia estomática se redujo en 50% de la tasa máxima (Jackson 1974, Sheehy et al. 1975, Grace y Russell 1977, Ripley y Saugier 1978, Jones et al. 1980, Ghashghaie y Saugier 1989). Kemp et al (1997) observaron una relación exponencial entre conductancia estomática y potencial hídrico del suelo, especialmente para estomas de forma alargada y estrecha como la de los pastos. Los estomas de *Agropyron desertorum*, *Bromus inermis* y *Elymus angustus* respondieron gradualmente a la declinación de potenciales hídricos cuando ocurrió una progresiva disminución de agua en el suelo (Bittman y Simpson, 1989). Ciertos autores han reportado que estomas de pastos responden directamente al contenido hídrico del suelo, más que al estatus hídrico de la planta (Nowak et al. 1988, Blaikie et al. 1989), probablemente mediado por una señal transportada desde las raíces en el flujo de transpiración (Davies y Zhang 1991).

El alto estatus hídrico de la hoja representado por el positivo potencial hídrico en el periodo húmedo podría interpretarse como una rápida restitución del agua al nivel interno favorecido por la conductividad hidráulica. Al respecto, García-Núñez (2003) señala que las conexiones xilemáticas en los estolones pueden permitir que se desarrollen gradientes dinámicos entre las distintas unidades (plantas) dependiendo del suministro de agua y de las demandas transpiracionales de las unidades. Doley y Trivett (1974) encontraron relaciones lineales entre el potencial hídrico y las variables transpiración y fotosíntesis neta, y atribuyeron mucha de la variación en el intercambio de gases a cambios en la resistencia estomática difusiva. Con la reducción de agua en el suelo, el potencial hídrico decreció fuertemente en más del 60% con respecto al periodo húmedo. En sequía, las especies *Elymus lanceolatus*, *Phalaris acuatia*, *Dactylis glomerata* y *Lolium multiflorum* alcanzaron valores de potenciales hídricos foliares promedio entre -1.0 a -1.7MPa (Jackson 1974, Redmann, 1976, Jones et al. 1980, Sambo 1981 y Svejcar 1986). Distintos autores (Svejcar 1986, Distel

y Fernández 1987, Schirmer de Mattos et al. 2005) han previamente documentado que el incremento del déficit hídrico en el suelo (disminución del potencial hídrico edáfico) redujo el potencial hídrico foliar.

La tasa transpiratoria encontrada en el periodo húmedo resulto similar a la alcanzada en *B. humidicola* (6.0 mmolm^{-2}) bajo condiciones de alto potencial hídrico del suelo (-0.05 MPa) (Schirmer de Mattos et al. 2005). Chacón-Moreno (1991), Sarmiento y Acevedo (1991) y Kolloffel y Lambers (1994) han reportado resultados mayores de E ($5,6$ a $12 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) en *Panicum maximum*, *Digitaria decumbens* y poblaciones de *Lolium perenne*. Valores máximos puntuales de transpiración entre $8,5 - 16,5 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ han sido observados en *Digitaria decumbens*, *P. maximum* y *Cenchrus pilosus* (Sarmiento y Acevedo 1991). En el presente estudio, los valores máximos de E están incluidos dentro del rango citado. La poca sensibilidad estomática a los cambios microclimáticos (temperatura y humedad relativa) durante el periodo húmedo fue debido a la alta disponibilidad de agua en el suelo y la poca variabilidad de estas condiciones microclimáticas. En contraste, en el periodo seco, distintos autores (Mora – Osejo et al. 1994, San José et al. 1997, Schirmer de Mattos et al. 2005) destacan la restricción en la intensidad de la transpiración con un bajo potencial hídrico en el suelo. Acevedo (1988) encontró al comienzo de la época seca valores de E ($3,3$ a $4,1 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) en *Digitaria decumbens*, *P. maximum* y *Cenchrus sp.* mayores a los registrados en este estudio

Durante el periodo húmedo no existió correlación entre A y Ks probablemente por la acción de un factor no estomático. Saeki (1975) interpretó este resultado como derivado de una adaptación de tipo bioquímico capaz de cambiar la eficiencia fotosintética de la planta de acuerdo a las condiciones del entorno sin involucrar de manera importante factores estomáticos. La respuesta en la asimilación de CO_2 en el periodo

húmedo estuvo afectada por la DFFF. En un estudio en cultivares de *Panicum maximum*. Ludlow y Wilson (1971) encontraron tasas de asimilación de $34.4 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ a intensidades de luz altas. En condiciones de campo y laboratorio, Chacon-Moreno et al. (1993) han encontrado valores similares ($25 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - $34,4 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$) a los valores máximos registrados en el presente estudio. En *Agropyron desertorum* y *Agropyron spicatum*, Nowak y Caldwell (1984) reportaron tasas fotosintéticas netas en hojas entre $13,8 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - $16,1 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$. En *P. clandestinum*, Wilen y Holt (1996) registraron tasas de fotosíntesis altas para regímenes de temperatura foliar entre 25°C y 40°C ; además de un rápido incremento en área foliar. Chacon-Moreno et al. (1993) reportaron en *Panicum maximum* un rango de temperatura foliar para la fotosíntesis entre 32°C y 37°C para la máxima obtención del 80% de la asimilación posible. Robson et al. (1988) y Humphreys (1991) destacan que la capacidad fotosintética de la pradera siguiendo defoliación depende de la cantidad de área foliar y el potencial fotosintético del follaje remanente. En el periodo seco, la fuerte regulación estomática generó una baja tasa de asimilación de CO_2 . Schirmer de Mattos et al. (2005) reportaron una reducción en fotosíntesis de aproximadamente 60,3% en condición de punto de marchitez permanente ($5,96 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$) con respecto a capacidad de campo (valores entre 15,0 y $11,0 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$). Wilson (1975) encontró una relación entre la tasa fotosintética y el contenido hídrico del tejido en *Lolium multiflorum*. El aumento en la eficiencia intrínseca en el uso del agua en el periodo seco implicó una mayor capacidad de la gramínea para asimilar CO_2 , con una menor apertura estomática. En gramíneas con rutas C_3 y C_4 , el aumento en los niveles de nitrógeno incrementó la eficiencia en el uso del agua como consecuencia de una alta tasa fotosintética y conductancia estomática (Bolton y Brown 1980). En praderas irrigadas, el decrecimiento en IAF estuvo asociado a un menor uso del agua (John y Lazenby 1988).

En el período seco, la recuperación del estrés en términos fisiológicos no ocurrió considerando el aumento del estatus hídrico del suelo al final. El comportamiento estomático ejerció un control efectivo sobre los procesos de intercambio gaseoso (fotosíntesis y transpiración), los cuales no restablecieron sus actividades normales. Este aumento de humedad fue insuficiente para restituir el estatus hídrico de las laminas foliares. En *Braquiaria* el comportamiento del intercambio gaseoso ante rehidratación está ligado a la influencia de los componentes del potencial hídrico foliar, muy posiblemente al potencial osmótico (Ford y Wilson 1981). Schirmer de Mattos et al. (2005) encontraron que después de la rehidratación el potencial hídrico foliar de las gramíneas se recuperó, al igual que la actividad fotosintética. Un resultado similar de rápida recuperación de potencial hídrico foliar obtuvo Clary et al (2004) en *B. retusum*. Según Mansfield y Davies (1985), algunas especies pueden presentar un efecto residual de déficit hídrico por varios días después de rehidratación de tejidos foliares, o pueden inclusive limitar la absorción de CO₂ debido a la alta concentración de Acido abscisico acumulado durante el estrés. Algunos resultados mostrados en la literatura indican que la recuperación fue incompleta (Ludlow y Ng 1976) o se caracterizó por un efecto compensatorio (Páez y Gonzáles 1995) después de la rehidratación.

CONCLUSIONES

En los diferentes cursos de variables microclimáticas y respuesta ecofisiológica de la gramínea, se pudo evidenciar diferencias considerables entre los períodos. En el presente estudio, se obtuvieron mayores valores de conductancia estomática, transpiración y tasa fotosintética en el pastizal *P. clandestinum* durante el período húmedo. La disminución del contenido de agua en el horizonte superficial del suelo redujo considerablemente la conductancia estomática. Bajo esta condición, los estomas impusieron un

mecanismo de control crítico sobre la pérdida de agua y asimilación de CO_2 . Dicha respuesta permitió regular la captación de agua del suelo cuando el suministro fue limitado. El potencial hídrico mostró un fuerte decrecimiento con la disminución del agua en el suelo. El incremento en la eficiencia intrínseca en el uso del agua estuvo atribuido a la habilidad de la gramínea para asimilar el CO_2 y regular la abertura estomática. Estas diferencias con respecto al periodo húmedo también se dieron al nivel de la superficie transpiratoria, la cual disminuyó substancialmente producto de una menor expansión foliar e incremento de la senescencia. El pastizal *P. clandestinum* exhibió durante la sequía un control estomático severo y una baja respuesta a la rehidratación. En síntesis, las tasas de intercambio gaseoso fueron altas en el período húmedo pero disminuyeron fuertemente con la reducción del contenido de agua en el suelo.

Aunque se espero diferencias ecofisiológicas en los pastizales sometidos a corte, los resultados no mostraron un claro patrón entre los tratamientos. Al respecto, existen razones de diversa índole no relacionadas con la adaptación evolutiva al efecto de presión de pastoreo que permiten explicar este hecho, entre aquellas se pueden mencionar: a) condiciones microclimáticas, b) edad de la hoja, c) inconsistencia en la frecuencia de defoliación y d) falta de mediciones ecofisiológicas en distintos tiempos después de defoliación. Así, en esta investigación, las respuestas ecofisiológicas siguiendo defoliación no pudieron ser comparadas con las documentadas por otros pastos. Las diferencias significativas en IAF entre tratamientos posibilitan inferir que la cantidad de agua transpirada al nivel de sistema pudo ser ligeramente mayor en aquellos tratamientos sin corte. Sin embargo, para comprobar esta hipótesis hace falta un estudio más detallado de la salida de agua por E en hojas con distinta edad y bajo cambiante intensidad lumínica. Por otra parte, resulta necesario un más grande entendimiento del efecto de corte en los procesos fisiológicos relacionados con mecanismos compensatorios que puedan intervenir en la

calidad y productividad del pastizal *P. clandestinum* aplicando distintas intensidades y frecuencias de defoliación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acevedo, D.. 1988. Economía hídrica de dos agroecosistemas tropicales: una pastura permanente y un cultivo de maíz. Tesis Lic. Bio., Fac. Ciencias, Mérida, Venezuela. 158p.
- Baruch, Z. 1994. Responses to drought and flooding in tropical forage grasses. I. Biomass allocation, leaf growth and mineral nutrients. *Plant and soil*, v.164, n.1, p.87-96.
- Baruch, Z., and Fernández, D.S. 1993. Water relations of native and introduced C4 grasses in a neotropical savanna. *Oecologia*, 96, 179 – 185.
- Bazzaz, F.A., Chiariello, N.R., Coley, P.D. y Pitelka, L.F. 1987. Allocating resources to reproduction and defense. New assesments of the costs and benefits of allocation patterns in plants are relating ecological roles to source use. *Bioscience* 37: 58 – 67.
- Bernale, E. J. 1986. Manual: pastos y forrajes. Federación de Ganadero de Colombia. 235p
- Bittman, S. y Simpson, G.M. 1989. Drought effect on leaf conductance and leaf rolling in forage grasses. *Crop Sci* 29: 338 – 344.
- Bjorkman O. y Powles S.B. 1984. Inhibition of photosynthetic reactions under water stress: interaction with Light level. *Planta* 161, 490 – 504.
- Black CR, Squire GR. 1979. Effects atmospheric saturation deficit on the stomatal conductance of pearl millet (*Pennisetum tiphoides* S & H) and groundnut (*Arachis hypogea* L.) *Journal of experimental Botany* 30: 935 – 945.
- Blaikie, S.J., K.B. Kelly, and W.K. Mason. 1989. Effects of ameliorating exposed subsoil prior to sowing on the water relations and productivity of pasture during gin irrigation cvcle. *Aust. J. Agric. Res.* 40:97-106

- Bolton, J.K. y Brown, h. 1980. Photosynthesis of grass species differing in carbon dioxide fixation pathways. *Plant. Physiol.* 66: 97 – 100.
- Briske, D.D., and J.H. Richards. 1995. Plant responses to defoliation: a physiological, morphological and demographic evaluation. *in* D.J. Bedunah and R.E. Sosebee (eds.), *Wildland plants: physiological ecology and developmental morphology*. Soc. for Range Manage., Denver, CO. p.635-710.
- Briske, D.D., Boutton, T.W. y Wang, Z. 1996. Contribution of flexible allocation priorities to herbivory tolerance in C₄ perennial grasses: an evaluation with ¹³C labeling. *Oecologia* 105: 151-159.
- Brueland, B.A., Harmony, K.R., Moore, K.J., George, J.R. y Brummer, E.C. 2003. Developmental morphology of smooth brome grass growth following spring grazing. *Crop sci.* 43: 1789-1796.
- Buldgen, A. y Francois, J. 1988. Physiological reactions to imposed water deficit by *Andropogon gayanus* cv. Bisquamulatus and *Cenchrus ciliaris* cv. Biloela in a mixed fodder crop. *The journal of agriculture science* 131: 31 – 38
- Cajas, Y., Grime, V., Sinclair, F., Fergus, 1998. Respuesta a la defoliación parcial en el uso de agua por vegetación leñosa en pasturas estacionalmente secas.
- Castro, D.P., Puyravaud, J.P. y Cornelissen, JHC. 2000. Leaf structure and anatomy as related to leaf mass per area variation in seedlings of a wide range of woody plant species and types. *Oecol* 124: 476-486.
- Cavelier, J. 1996. Relaciones hídricas y de nutrientes en bosques enanos nublados tropicales. Tesis de maestría, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Chacón Moreno, E.J. 1991. Estudio de la producción primaria de una gramínea tropical bajo diferentes frecuencias de corte y su interpretación en base a la dinámica de las superficies asimilatorias. Universidad de Los Andes. Mérida. 158p.
- Chacón-Moreno, E., Rada, F., y Sarmiento, G. 1995. Intercambio gaseoso, nitrógeno foliar y optimización en el manejo de *Panicum maximun* (tipo común) sometido a diferentes frecuencias de corte. *Turrialba* 45 (1-2):19 – 26.
- Chaves, M.M., 1991. Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany*, v.42, n.234, p 1-16.

- Clary, J., Savé, R., Biel, C., y de Herralde, F. 2004. Water relations in competitive interactions on Mediterranean grasses and shrubs. *Ann. Appl. Biol.* 144:149 – 155.
- Coyne, P.I., M.J. Trlica, and C.E. Owensby. 1995. Carbon and nitrogen dynamics in range plants. *in* D.J. Bedunah and R.E. Sosebee (eds.), *Wildland plants: physiological ecology and developmental morphology*. Soc. For Range Manage., Denver, CO. Curl, E.A., and B. Truelove. p. 59-167.
- Dale, A. 1976. Kikuyo's role as a pasture species Queensland Agricultural journal. Vol. 1 p. 4. Enero – febrero. Inglaterra.
- Davies, W.J., and J. Zhang. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Ann. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.* 42:55-76.
- Dávila, V. & Chaverra, H., 1987. Kikuyo. Establecimiento y manejo de pastos y forrajes. TOA. Colombia. 5^ª Edición, 134: 146 – 153.
- De Castro Rodríguez, D. 2004. Producao de forragem de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf e modelagem de respostas produtivas em funcao de variáveis climáticas. 112p.
- Distel, R.A. y Fernández, O.A. 1987. Leaf water potential trends in three grasses native to semiarid Argentina. *J. Range Manage.* 40:203-207.
- Doley, A, Trivett, NBA. 1974. Effect of low water potentials on transpiration and photosynthesis in mitchell grass (*Astrelba lappacea*). *Australian Journal of plant physiology*, 1 (4).539-550
- Dyer, M.I., Detling, J.K., Coleman, D.C., y Hilbert, D.W. 1982. The role of herbivores in grasslands. *In: Grasses and grasslands*. Estes, J.R., Tyrl, R.J. y Brunken, J.N. eds. Capitulo 10. 225 – 295.
- Ford, C.W. y Wilson, J.R. 1981. Changes in levels of solutes during osmotic adjustment to water stress in leaves of four tropical pastures species. *Aust. J. Plant Physiol.* 8:77-91.
- García, C., 2003. Aspectos ecofisiológicos del establecimiento de 2 especies de árboles siempreverdes de las sabanas estacionales. Tesis de doctorado. 185p.

- Ghashghaie, J., y B. Saugier. 1989. Effects of nitrogen deficiency on leaf photosynthetic response of tall fescue to water deficit. *Plant Cell Environ.* 12:261-271.
- Grace, J. v Russell, G. 1977. The effect of wind on grasses. *J. Exp. Botany* 28:268-278.
- Gifford, R. y Marshall, C. 1973. Photosynthesis and assimilated distribution in *Lolium multiflorum* Lam. Following differential tiller defoliation. *Aust. Jour. Biol. Sci.* 36: 517-526.
- Gold, W.G. y Caldwell, M.M., 1990. The effects of the spatial pattern of defoliation on regrowth of a tussock grass. *Oecologia* 82: 12 – 17
- Hodgkinson K.C. y Williams, O.B. 1983. Adaptation to grazing in forage plants. In: proc. Symp. On Genetic Resources of Forage plants. (Bray, R.A. and McIvor, J.G. Eds). Melbourne, Csiro. Pp. 85 -100.
- Hodgkinson K.C., Smith, N.G. y Miles, G.E. 1972. The photosynthetic capacity of stubble leaves and their contribution to growth of the Lucerne plant after high level cutting. *Aust. J. Agr. Res.* 23: 225 – 238.
- Humphreys, L.R. 1991. Tropical pasture utilization. New York: Cambridge University press. 206p.
- Jackson, D.K. 1974. The course and magnitude of water stress in *Lolium perenne* and *Dactylis glomerata*. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 82:19-27.
- John GG. y Lazenby, A. 1988. Defoliation, leaf area index, and the water use of four temperate pasture species under irrigated and dryland conditions. *Australian journal of agricultural research* 24 (6): 783 – 795.
- Jones, C. A., Peña, D., y Carabaly, A. 1980. Effect of plant water potencial, leaf diffusive resistance, rooting density and water use in the dry matter production of several tropical grasses during short periods of drought stress. *Trop. Agric.* 57, 211 – 219.
- Jones, M & Lazenby, A. 1988. The grass crop. New York: Chapman and Hall. 368p.
- Jones, M.B., E.L. Leafe, and W. Stiles. 1980. Water stress in field-grown perennial ryegrass. II. Its effect on leaf water status, stomatal resistance and leaf morphology. *Ann. Appl. Biol.* 96:103-110.

- Kemp, P.R., Reynolds JF, Pachepsky Y. Chen J-L. 1997. A comparative modeling study of soil water dynamics in a desert ecosystem. *Water Resour Res* 33: 73 – 90.
- Kolloffel C y Lambers, H. 1994. The effect of handling on photosynthesis, transpiration, respiration, and nitrogen and carbohydrate content of populations of *Lolium perenne*. *Physiologia plantarum* 91: 631 – 638.
- Lawlor, D.W. 1972. Growth and water use of *Lolium perenne*. In: *Plant growth*. J. Appl. Ecol. 9:99-105.
- Ludlow, M. 1980. Adaptive significance of stomatal responses to water stress. En: *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. N.C. Turner; P.J. Kramer (eds). John Wiley & sons, inc. New York. pp. 123 – 138.
- Ludlow, M.M. Fisher, M.J y Wilson, J.R. 1985. Stomatal adjustment to water deficits in three tropical grasses and a tropical legume grown in controlled conditions and in the field. *Aust. J. Plant Physiol.* 12: 131- 150.
- Ludlow, M.M., and T.T. Ng. 1976. Effect of water deficit on carbon dioxide exchange and leaf elongation rate of *Panicum maximum* var. *Trichoglume*. *Aust. J. Plant Physiol.* 3:401-413.
- Ludlow, M.M. y Wilson, G.L. 1971. Photosynthesis of tropical pasture plants. I. Illuminance, carbon dioxide concentration, leaf temperature and leaf air vapour pressure difference. *Australian Journal of Biological Sciences*, Melbourne, 24: 449 – 470.
- Malave, J. y Marín, W. 1985. Intercepción, Escurrimiento superficial y erosión en un área bajo presión con ganadería de altura en el Joque, Tesis Ing. For., Fac. Ciencias Forestales, Mérida, Venezuela. 53 p.
- Mansfield, T.A. y Davies, W.J. 1985. Mechanisms for leaf control of gas exchange. *Bioscience* 35: 158 – 164.
- Márquez, X., Norate, J., Reyes, L.M., Norato, A., Caro, A.M. 2001. Mecanismo fisiológico de respuesta a bajas temperaturas y a la aplicación de putrescina en kikuyo y falsa Poa.. Viabilidad celular y deshidratación. *Revista Comalfi*. Vol. XXVIII. N° 2. May – Ago.

- McCree, K.J. 1974. Changes in the stomatal response characteristics of grain sorghum produced by water stress during growth. *Crop Sci.* 14: 273-278.
- Mora-Osejo, L. et al. 1994. Contribuciones al estudio comparativo de la conductancia y de la transpiración foliar de especies de plantas del páramo. Academia colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Bogotá. 281p.
- Newton PCD. 1991. Direct effects of increasing carbon dioxide on pasture plants and communities. *N. Z. J. Agric. Res* 34: 1 -24
- Ng, T.T., Wilson, J.R., Ludlow, M.M. 1975. Influence of water stress on water relations and growth of a tropical (C₄) grass, *Panicum maximum* var. *Trichoglume*, *Australian Journal of plant physiology*, v.2, n.4, p.581-595.
- Nowak, R.S., J.E. Anderson, and N.L. Toft. 1988. Gas exchange of *Agropyron desertorum*: Diurnal patterns and responses to water vapor gradient and temperature. *Oecologia* 77:289-295.
- Nowak, R.S. y Caldwell, M.M. 1984. A test of compensatory photosynthesis in the field: implications for herbivory tolerance. *Oecologia* 61(3): 311-318.
- Páez, A. and González, M.E. 1995. Water stress and clipping management affects on guineagrass: II. Photosynthesis and water relations. *Agron. J.*, 87: 706 – 711.
- Páez, A., González, M.E. Yrausquin, X et al. 1995. Water stress and clipping management effects of guineagrass. I. Growth and biomass allocation. *Agronomy journal*, v.87, n.4, p 698-706.
- Pérez, J., García, E., Enríquez, J.F., Quero, A.R., y Hernández. A. 2004. Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno de pasto mulato (*Brachiaria* híbrido, cv.). *Tec. Pecu. Mex* 42(3): 447 – 458.
- Posada, J., Aide, M.T., y Cavelier, J., 2000. Cattle and wedy shrubs as restoration tools of tropical montane rainforest. *Restoration Ecology* Vol. 8 No. 4, pp. 370 – 379.
- Redmann, R.E. 1976. Plant - water relationships in a mixed grassland. *Oecologia* 23:283 -295.
- Renquist, A.R., J. Breen, y L.W. Martin. 1982. Stomatal behavior and leaf water status of strawberry in different growth environments. *Sci. Hort. (Amsterdam)* 18:101-110.

- Ripley, E.A., y B. Saugier. 1978. Biophysics of natural grassland evaporation. *J. Appl. Ecol.* 15:459-480.
- Robson, M.J., Ryle, G.J.A. y Woledge, J. 1998. The grass plant- its form and functions. In Jones, M.B. y A. Lazenby (eds). *The grass crop: The physiological basis of production*. Chapman and Hall. London, England. p. 25 – 83.
- Romero, E., 1980. Efecto de la fertilización nitrogenada (orgánica – inorgánica) sobre la relación suelo – planta, usando como cultivo a la papa variedad “Alfa” en la región de los Andes. Tesis de maestría. CIDIAT, Mérida. pp. 25 – 35.
- Ryle, GJA, Powell, CE. 1975. Defoliation and regrowth in the graminaceous plant: the role of the current assimilate. *Ann Bot* 39: 297 – 310.
- Saeki, T. 1975. Distribution of radiant energy and CO₂ in terrestrial communities. In J.P. Cooper. *Photosynthesis and productivity in different environments*. Cambridge University Press. London. UK.
- Sambo, E.Y. 1981. Osmotic adjustment as a mechanism of drought resistance in crop and forage species. *J. Sci. Technol. (Malawi)* 2:21-37.
- San José, J.J., Nikonova, N. & Bracho, R. 1998. Comparison of factors affecting water transfer in a cultivated paleotropical grass (*Brachiaria decumbens* Stapf) field and a Neotropical savanna during the dry season of the Orinoco lowlands. *American Meteorological Society*. Vol 37: 509 – 522
- Sarmiento, G., & Acevedo, D., 1991. Dinámica del agua en el suelo, evaporación y transpiración en una pastura y un cultivo de maíz sobre un alfisol en los llanos occidentales de Venezuela. *Ecotropicos*, Vol. 4 (1): 27 – 42. 1991.
- Schirmer de Mattos, J., Gomide, J.A., Martínez y Huaman, C. A. 2005. Effect of water deficit on the growth of *Braquiaria* species in greenhouse. *R. Bras. Zootec.* Vol.34 nº3
- Sheehy, J.E., R.M. Green, and M.J. Robson. 1975. The influence of water stress on the photosynthesis of a simulated sward of perennial ryegrass. *Ann. Bot.* 39:347-401.

- Sheriff, D.W. y Ludlow, M.M. 1984. Physiological reactions to the imposed drought by *Macroptilium atropurpureum* and *Cenchrus ciliaris* in a mixed sward. *Aust. J. Plant Physiol.*, 11, 23 – 34.
- Svejar, T. 1986. Comparative water relations of *Carex jeyeri* and *Calamagrostis rubescens*. *Bot Gaz.* 147: 71-77.
- Taiz, L & Zeiger, E., 2002. *Plant physiology*. Sinauer associates. Sunderland, Massachusetts. 792p.
- Tester, M & Bacic, A. 2005. Abiotic stress tolerance in grasses. From model plants to crop plants. *Plant physiology* Vol 137, pp. 791-793.
- Torres, R.A. 1984. Estudio de algunos aspectos de la ecofisiología de 3 gramíneas en la sabana estacional. Tesis Magíster scientiae en ecología tropical. Mérida. 127p.
- Von Caemmerer & Farquar, 1981. Some relationship between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta* 153:376-387
- Wallace, L.L., McNaughton, S.I., Coughenour, M.B., 1984. Compensatory photosynthetic responses of three african graminoids to different fertilization, watering, and clipping regimes. *Botanical Gazette (Chicago)* 145(2): 151 – 156
- Wilen, C.A. y Holt, J.S., 1996. Physiological mechanisms for the rapid growth of *Pennisetum clandestinum* in mediterranean climates. *Weed research* 36: 213 – 225.
- Wilson, D. 1975a. Leaf growth, stomatal diffusion resistances and photosynthesis during droughting of *Lolium perenne* populations selected for contrasting stomatal length and frequency. *Ann. Appl. Biol.* 79:67-82.
- Wilson, D. 1975b. Stomatal diffusion resistances and leaf growth during droughting of *Lolium perenne* plants selected for contrasting epidermal ridging. *Ann. Appl. Biol.* 79:83-94.
- Wilson, J.B.. 1988. A review of evidence on the control of shoot:root ratio. in relation to models. *Ann. Bot.* 61: 433-449.
- Winkel, T., Payne, W., Renno, J.F. 2001. Ontogeny modifies the effects of water stress on stomatal control, leaf area duration and biomass partitioning of *Pennisetum glaucum*. *New phytologist* 149: 71 – 82.

CAPITULO 2

¿MÉTROS DEL BALANCE HIDRICO EN EL PASTIZAL DE *Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov BAJO DISTINTOS NIVELES DE CORTE

1. INTRODUCCION

La ganadería de altura destinada principalmente a la producción de leche corresponde a un sector cada vez más importante en la economía Venezolana. Estudios relacionados con el impacto en extensión y perturbación de la actividad agropecuaria han recibido poca atención en la unidad ecológica de selva nublada montana, a pesar de la gran importancia implícita de esta área montañosa como zona colectora y reguladora de agua. Dicho rol esta caracterizado principalmente por una serie de procesos interrelacionados con la interceptación de neblina y precipitación (Cavelier y Goldstein 1989, Bruijnzeel 1990, Ataroff y Rada 2000), afectados por la conformación estructural de la vegetación con varios doseles y gran epifitismo que de modo importante amortiguan la acción de fuertes lluvias y favorecen el ingreso y retención de agua impidiendo el deterioro del sistema natural, por procesos erosivos en masa u otras formas de movimiento, que se generalizan con la alteración (Raiza y Torres 1996).

La sustitución con pastizales confiere al escenario de selva nublada montano baja una nueva cobertura y estructura controlada por el patrón espacial y temporal (mosaico de pastoreo) que sigue el ganado y el tipo de manejo (frecuencia, intensidad y estación de pastoreo) que imparte el ganadero. La introducción de la gramínea de origen africano *Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov a los sistemas ganaderos en selva nublada ha sido determinada en gran medida por atributos como la excelente adaptación, fácil establecimiento, resistencia a la sequía, hábito de crecimiento agresivo, alta productividad, buena calidad nutritiva, resistencia al pastoreo y buena aceptación por el ganado (Medina 1983, Dávila y Chaverra, 1987).

El pastizal kikuyo (*P. clandestinum*) constituye uno de los cultivos comunes adaptados excelentemente a las condiciones topográficas particulares de este ambiente alto andino de pendientes pronunciadas, substratos geológicamente inestables y altas precipitaciones. En este sentido, el sistema pastizal incluye procesos funcionales en los que el agua juega un papel fundamental al nivel de vías de transferencia y almacenamiento. La dinámica del agua depende notablemente de la forma de crecimiento y características arquitectónicas del pasto (Wood et al. 1998, Dorigo & Groenendaal, 2000). La variación temporal y espacial en los compartimientos aéreos puede significar una ganancia inicial por intercepción de agua y una vía de disipación por evapotranspiración, aspectos que convergen en el balance hidrológico y la conservación del agroecosistema.

Los estudios de balance hídrico en agroecosistemas incluyen ciertos componentes (transpiración, evaporación, contenido de agua en el suelo y precipitación o riego) relacionados con el funcionamiento e incremento en la productividad de cultivos. En la región andina venezolana, existe una compilación de estudios que evalúan el impacto sobre la dinámica hídrica con distintas formas de manejo: en cafetales (Ataroff y Monasterio 1996), en bosque natural siempreverde seco con cultivos de hortalizas y pastizal de kikuyo (Ataroff y Sánchez 2000), en cultivo de papa y páramo natural (Sarmiento 1995), en selva nublada y pastizal de kikuyo (Ataroff y Rada 2000), en cultivos de papa y pastizal de kikuyo (Pérez y López 2000), y en pastizal de kikuyo (Rada et al. en preparación, Malavé y Marín 1985) . En otros países andinos como en Colombia, Fonseca (2005) comparó el pastizal de kikuyo con selva nublada y en Bolivia, las referencias de pastizales de kikuyo son suministradas por Salm (1997). Investigaciones similares han sido realizadas para predecir el comportamiento de los componentes del

balance hídrico en distintos tipos de vegetación ubicados en unidades ecológicas venezolanas de baja altitud como sabanas naturales, con pastizales de *Digitaria decumbens* y cultivos como maíz (Acevedo y Sarmiento 1990, Sarmiento y Acevedo 1991, San José et al. 1998).

Considerando tales precedentes, son escasos los estudios en dinámica hídrica de pastizales sometidos a remoción continua de biomasa aérea por acción mecánica (corte) en áreas de selva nublada montano baja venezolana. La carencia de datos representa entonces una de las más grandes limitaciones para el diseño de medidas concretas que promuevan el manejo sostenible de los recursos hídricos (agenda de Montaña (1998) documento elaborado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE)).

En el presente estudio, los efectos de cambios abruptos en la estructura aérea de un pastizal de *P. clandestinum* por pastoreo son abordados a través de las modificaciones ejercidas por repetidos cortes con el fin de determinar la distribución y magnitud que alcanzan los flujos de agua en los distintos procesos hídricos. El comportamiento hídrico del pastizal también es evaluado dependiendo del estatus hídrico del sistema, por periodos húmedo y seco.

2. MARCO TEORICO: EL BALANCE HÍDRICO Y SU ESTUDIO A NIVEL DE ECOSISTEMAS

2.1. Balance hídrico

El ciclo del agua en un ecosistema o cuenca puede ser caracterizado o ponderado por el balance hídrico, el cual es el cómputo de todos los flujos de agua dentro de los límites del sistema. El estudio del balance hídrico tiene como objetivo principal determinar la dinámica espacial y temporal que sigue el agua, describiendo y cuantificando las diferentes entradas,

salidas y reservorios en los compartimientos del ecosistema (Sarmiento, 1984; Acevedo, 1988). Así, el movimiento del agua en el ecosistema resulta relevante para su funcionamiento ya que no solo determina la economía hídrica de la vegetación sino que condiciona la economía del carbono y nutrientes minerales (Acevedo y sarmiento, 1990).

A escala ecosistémica, el balance hídrico incluye diversos procesos que varían con las condiciones del clima, tipo de suelo y cobertura de vegetación como producto de las mismas características biofísicas y parámetros intrínsecos que conducen el movimiento del agua en el sistema. La conexión del balance hídrico con otras vías distintas como es la materia y energía, dinamiza el comportamiento de los procesos implicados en la productividad del sistema. Tal consideración puede apreciarse en el contenido de agua en el suelo, que afecta el fraccionamiento y utilización de la energía procedente de la radiación solar aunque de manera recíproca el flujo de energía influye en el estado y movimiento del agua en el suelo (Hillel, 1972).

2.2. Componentes del balance hídrico

El concepto más simple del balance hídrico en el sistema es suministrado por la diferencia entre la cantidad de agua ganada y aquella perdida durante un cierto periodo de tiempo. Cuando se asume como un balance financiero, el capital (el agua) se administra a través de tres aspectos importantes que incluyen los respectivos componentes hídricos:

- Aportes de agua: precipitación y/o riego
- Sustracciones de agua: escurrimiento superficial, percolación, drenaje, evaporación y transpiración.
- Saldo hídrico: cambios de humedad en el perfil del suelo

En un orden general, las adiciones y sustracciones consideran el destino de la lluvia o irrigación alcanzando la superficie del suelo en el tiempo. Desde

esta óptica, alguna fracción del agua puede fluir por la superficie como escurrimiento superficial o infiltrar en el suelo. Del agua que ingresa en el suelo, una parte es retenida y otra fluye gravitacionalmente a través de él durante un cierto periodo, hasta drenar subsuperficialmente, percolar en capas freáticas profundas o alimentar posteriormente el drenaje superficial de cotas más bajas incorporándose, junto con el escurrimiento al agua de ríos y quebradas. A su vez, parte del agua edáfica puede evaporarse directamente a través de la superficie del suelo, aunque normalmente la mayor proporción será absorbida por las raíces y finalmente transpirada por los órganos aéreos de las plantas (Salisbury y Jensen, 1988).

2.2.1. Precipitación vertical

Como precipitación se conocen todas las formas de humedad que caen en la tierra, provenientes de las nubes, como agua, nieve y hielo. Este proceso hídrico es factible cuando se produce el enfriamiento de la masa de aire por debajo del punto de condensación o temperatura del punto de rocío. No obstante, existen otras condiciones para que se produzca la precipitación como la existencia de ciertas partículas sólidas suspendidas en el interior de una nube que actúan como núcleos de condensación y el crecimiento de las gotas de agua hasta tener un peso suficiente que les permita caer.

El total anual, la distribución estacional y la variación interanual son las características de la precipitación que resultan de la sumatoria, promedios mensuales y estadística de los eventos de lluvia, que mayor información brindan sobre la dinámica de las condiciones ecológicas de las regiones (Acevedo, 1988). Dentro del análisis de la precipitación se considera las características específicas de cada evento de lluvia, como son: cantidad, duración, intensidad y frecuencia. La combinación de estas características interviene en el comportamiento de cada uno de los procesos del balance hídrico, siendo modelada su acción por las variaciones estacionales de la

estructura y composición de la vegetación; por la cantidad de agua existente en el suelo y por la variabilidad topográfica del sistema.

Por otra parte, el uso de instrumentos para registrar precipitación permite caracterizar tanto a nivel climático como ecológico las distintas regiones del mundo. Generalmente, la lámina precipitada se mide en un recipiente denominado pluviómetro que proporciona la altura de la precipitación total en milímetros en intervalos de tiempo fijados de antemano, comúnmente de 24 horas. Otro modo de registrar la precipitación se realiza en las estaciones meteorológicas mediante un pluviógrafo que permite obtener una estimación confiable durante un intervalo de tiempo específico que puede ser diario, mensual, anual o estacional. Los registros obtenidos mediante estos instrumentos representan un dato puntual dentro de un área determinada. En regiones de montaña tropical, a una escala de tiempo mensual o anual, parte de la precipitación es de origen orográfico, parte es convectiva y parte es debida a sistemas sinóticos que se propagan a través de las cadenas montañosas.

2.2.2. Intercepción

La cantidad de agua que el clima pone a disposición de las plantas a través de las precipitaciones sufre una primera merma destacable a causa de la intercepción considerada como la fracción porcentual de la precipitación retenida en la superficie del follaje. La intercepción puede ser efectuada por los distintos estratos de la biomasa verde o en pie y por la hojarasca o materia orgánica acumulada sobre el suelo. El agua interceptada es retenida temporalmente por la vegetación, al llegar al suelo, su impacto es moderado, disminuyendo el efecto erosivo, el escurrimiento superficial, distribución y almacenamiento en el suelo. La intercepción depende directamente de la estructura y cobertura vegetal, pero también de la cantidad y el tipo de lluvia, aproximándose a 100% si las cantidades de precipitación son pequeñas y caen suavemente (Acevedo y Sarmiento 1990;

Salisbury y Jensen 1988). La evaporación del dosel de una planta puede ser un flujo significativo en áreas especialmente húmedas donde pérdidas de interceptación pueden exceder pérdidas transpiracionales (Calder 1976).

2.2.3. Precipitación neta

Representa la cantidad de agua de lluvia que alcanza la superficie directamente, sin haber sido interceptada por las superficies vegetales (Precipitación neta directa) más la que siendo detenida por la vegetación posteriormente llega al suelo por goteo (Precipitación neta por goteo). Ambos componentes son medidos con pluviómetro colocados a nivel del suelo (pluviómetros efectivos). Si además hay flujo caulinar, es decir agua de lluvia que fluye por el exterior de las ramas de los troncos alcanzando el suelo, la cantidad de agua total que le llega al sistema es la adición de precipitación neta parcial (precipitación neta directa + precipitación neta por goteo) y flujo caulinar. Al respecto, el escurrimiento caulinar puede proveer más agua para algunas especies y darles una ventaja competitiva en comunidades mezcladas (Ndawula-Senyemba et al. 1971).

A pesar de su sencillez conceptual la precipitación neta presenta otras interpretaciones. Desde el punto de vista agronómico, la precipitación neta es la porción de la lluvia útil directa o indirectamente para la producción de cultivos. La efectividad de la precipitación puede evaluarse de tres formas: como insumo, en cuanto satisface las necesidades de agua en un cultivo, como relación con otras variables meteorológicas, y como rendimiento, en términos de producción por unidad de agua y/o beneficios económicos (Dastane 1974).

2.2.4 Escurrimiento superficial

Se denomina así el flujo superficial que se produce cuando la tasa de precipitación excede la tasa de infiltración. Los factores que afectan el proceso de escurrimiento superficial en los agroecosistemas están relacionados con las características de la precipitación, cobertura vegetal

(formas de vida, arquitectura, estructura y densidad), textura, estructura del suelo y pendientes del terreno (forma, grado y longitud).

El proceso de escurrimiento superficial generalmente comienza cuando el almacenamiento de agua en el suelo supera su máxima capacidad posibilitando la formación de una lámina continua de agua que por efecto de la gravedad adquiere movimiento descendente en el sentido de la pendiente. A medida que aumenta la pendiente del terreno, el agua adquiere mayor energía potencial que favorece la dinámica del proceso de escurrimiento superficial, aumentando su poder de arrastre. Este efecto disminuye con el aumento en la longitud de la pendiente que favorece los procesos de infiltración o evaporación. Por otra parte, Hudson (1982) define que para establecer buenas correlaciones entre los procesos de precipitación – escurrimiento superficial o erosión se debe tener en cuenta la humedad antecedente del suelo en el momento del evento, el porcentaje de cobertura y la intensidad de la lluvia en espacios de tiempo largo.

No en toda ocasión el escurrimiento superficial representa una pérdida para el sistema, en algunos casos puede ser una vía importante de aporte de agua suplementario a sistemas adyacentes. En muchas regiones áridas grandes extensiones de tierra permanecen sin uso por la insuficiencia o inestabilidad de la precipitación, suelos pobres o topografía irregular. La posibilidad de controlar e incrementar la cantidad de escurrimiento superficial obtenida de tales tierras puede ser de gran importancia, particularmente donde el agua es escasa y la escurrimiento así obtenida puede aumentar el suministro de agua para cultivo o ganado (Hillel y Rawitz, 1968).

2.2.5. Infiltración de agua en el suelo

Se define como un proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y desciende hasta sus capas inferiores debido a un gradiente de potencial en este sentido. Este ingreso de agua en el sistema poroso del

suelo esta sometida a fuerzas capilares y gravitacionales. La porosidad del material no significa necesariamente, que pueda darse una infiltración alta, para que esto ocurra los poros deben estar intercomunicados entre si, es decir, que el material sea permeable. En este sentido, Rundel y Jarrell (1989) hacen una distinción denominando el movimiento del agua en el suelo como infiltración, termino opuesto al movimiento del agua a través del suelo definido como permeabilidad

La infiltración es un fenómeno influenciado por: la humedad previa del suelo, la estratificación del perfil, la textura, estructura del suelo, la vegetación y características de la lluvia. Estas características rigen las tasas de flujo de agua y la redistribución en las capas de suelo u horizontes además de la variación continua en el volumen de agua almacenada en el suelo, el cambio en los potenciales y la conductividad hidráulica del suelo.

La cantidad de agua que infiltra disminuye a medida que el contenido relativo de humedad en el suelo aumenta hasta alcanzar una tasa de infiltración constante o infiltración básica (Hudson 1982). Si el suelo tiene un porcentaje de humedad alto, la infiltración es menor que si el suelo esta seco. Por esta razón, laminas precipitadas no muy altas pueden producir crecientes significativas en épocas invernales, cuando el suelo se encuentra saturado de humedad.

La infiltración desempeña un papel fundamental en los procesos de escurrimiento como respuesta a la magnitud de una precipitación dada. La cantidad de agua (en lamina) que el suelo es capaz de absorber en la unidad de tiempo es la capacidad de infiltración y se expresa en mm/h. Horton (1940) propuso la siguiente relación para determinarla:

$$F = F_c + (F_o - F_c)e^{-kt}$$

F= capacidad de infiltración en un tiempo t en mm/h

F_c = capacidad de equilibrio, que se da cuando el suelo esta completamente saturado en mm/h.

F_o = capacidad inicial en mm/h

t = tiempo en horas

K = constante que representa la tasa de decrecimiento de esa capacidad.

En un suelo seco, la capacidad de infiltración es mayor que la intensidad de la lluvia, esto implica que toda la lluvia se infiltra. Con el tiempo, si la lluvia es lo suficientemente intensa, el contenido de humedad del suelo aumenta hasta que se llega a la saturación. En este momento se empiezan a llenar las depresiones del terreno y se originan charcos dando comienzo a la escurrimiento superficial directa. A este tiempo se le denomina tiempo de encharcamiento. Si la lluvia continua se iguala F a F_c , esta capacidad de infiltración es equivalente a la conductividad hidráulica del suelo. Bajo las condiciones anteriores la capa saturada, que en el momento que se da el encharcamiento era muy delgada se ensancha, a medida que su límite inferior, llamado “frente húmedo” baja.

2.2.6. Humedad del suelo

El suelo es un importante compartimiento del sistema que actúa como depósito para el suministro de agua a la vegetación y los flujos de drenaje profundos. Sus propiedades de absorción, retención, liberación y movimiento del agua influyen en el balance diario hídrico (Dastane 1974). La humedad del suelo generalmente se define como la cantidad de agua retenida en la superficie de las partículas sólidas y en el espacio poroso del suelo en un momento dado. Al penetrar por el espacio poroso el agua gravitacional comienza a moverse hacia abajo por los macroporos al mismo tiempo que los poros superficiales de menor tamaño (microporos) retienen agua por capilaridad. Las fuerzas capilares desvían el agua gravitacional hacia los meso y microporos, de manera que el agua gravitacional que pasa a los horizontes inferiores disminuye constantemente. El cuantificar la

cantidad de agua almacenada en el suelo es un requisito para entender la dinámica de los procesos físicos, químicos y biológicos; así como para explicar el crecimiento de las raíces y el balance hídrico.

El mantenimiento y la producción del sistema dependen notablemente de la cantidad de agua que llega al suelo y penetra en él. En este reparto del agua, una importante fracción se redistribuye no uniformemente a través del espacio poroso afectada por diferentes factores:

- **Textura:** las partículas del suelo entre más finas retienen más agua alcanzando rápido la capacidad de campo. De manera opuesta ocurre en los suelos de textura más gruesa que retienen menos agua para uso de la planta por unidad de volumen de suelo (Hillel 1972). Así, con el predominio de alguna u otra fracción presentara características muy diferentes que influirán en la aireación, permeabilidad, retención de humedad y volumen explorado por las raíces. La textura mas equilibrada es la correspondiente a los suelos francos (arcilla entre 10 – 25% y limo 25-50%)
- **Tipo de arcilla:** representa la capacidad de hidratación del suelo, siendo el porcentaje de humedad mayor en las arcillas montmorillonita y menor en las kaolinitas.
- **La materia orgánica:** propicia mayor retención de humedad en el suelo. Suelos con alto contenido de materia orgánica tienen mayor rango de humedad aprovechable (Capacidad de campo).
- **La presencia de un horizonte impermeable:** impide el paso de agua a través del perfil inhibiendo o incrementando el proceso de redistribución del agua en el suelo.
- **La absorción de agua por las raíces y la evaporación directa de la capa superficial del suelo:** afectan los gradientes de potencial hídrico, la dirección del flujo en el perfil, el contenido de humedad y su redistribución en los horizontes.

2.2.7. Drenaje

Constituye la vía de salida del exceso de agua gravimétrica hacia el nivel freático o hacia un sistema de drenaje lateral. Esta condición ocurre cada vez que el suelo se satura perdiendo importancia las fuerzas capilares hasta el grado en donde el movimiento del agua se produce por la acción de la gravedad.

Cuando la humedad del suelo supera el límite de capacidad de campo se producen pérdidas de agua por drenaje, esto puede deberse a un aumento del volumen de agua en el suelo por infiltración, flujo lateral o almacenamiento interno. La percolación supone previa saturación del suelo en la zona radicular y la elevación del nivel de humedad al valor de la capacidad de campo después de saturado por infiltración superficial. La ocurrencia y magnitud de la percolación depende del excedente de agua por encima del valor correspondiente a la capacidad de campo. El agua excedente que pasa la frontera máxima de enraizamiento queda definida como agua de drenaje interno no utilizable por la planta durante su desarrollo.

Existen dos tipos de drenaje: el vertical que implica un movimiento vertical y descendente del agua a través del perfil del suelo hasta alcanzar el nivel freático o zona de saturación y el horizonte oblicuo que define el movimiento horizontal del agua a cierta profundidad de la superficie del suelo debido al efecto producido por la pendiente, la disminución constante de la conductividad hidráulica a medida que aumenta la profundidad y la existencia de un horizonte impermeable.

Uno de los mas conocidos dispositivos empleados para determinar el drenaje es el lisímetro utilizado en condiciones de campo para cuantificar las pérdidas de agua y también de nutrientes. Sin embargo, este instrumento presenta una serie de inconvenientes que radican en: limitación del crecimiento de la raíz, la alteración de la estructura del suelo que origina

cambios en el movimiento del agua, el cese del intercambio libre en la capilaridad de agua del suelo y el denominado “efecto bouquet”, en virtud del cual la copa de las plantas cultivadas en los lisímetros está por encima y se extiende sobre el cultivo circundante resultando en una tasa de evapotranspiración más elevada.

2.2.8. Evaporación y transpiración

Estos procesos en el ecosistema implican pérdida de agua en estado gaseoso debido a la demanda ambiental casi continua. La evaporación es el proceso por medio del cual el agua en la superficie del suelo o vegetal cambia a un estado gaseoso en la atmósfera absorbiendo energía calórica. La transpiración es el principal proceso dominante en las relaciones hídricas de una planta que se deriva de la absorción de grandes cantidades de agua a partir del suelo, su transporte a través de la misma y la pérdida eventual del vapor de agua hacia la atmósfera circundante (Azcon – Bieto y Talón 2001).

El proceso evaporativo se debe al déficit de presión de vapor de agua existente en el suelo y en la atmósfera que está sobre su superficie. Cuando el suelo está húmedo las pérdidas de evaporación son rápidas ya que primero se evapora el agua contenida en los horizontes superficiales, a medida que estos se secan la tasa evaporativa comienza a disminuir y empieza la remoción de agua en los horizontes inferiores por ascenso capilar hasta que el flujo se interrumpe por el bajo contenido de humedad. La evaporación se reduce drásticamente hasta ser casi insignificante una vez que se establece la capa seca superficial a menos que ocurra una frecuente adición de agua. La evaporación directa puede ser una mayor ruta de pérdida del agua donde la vegetación no completamente cubre el suelo y la superficie es húmeda. Bajo estas circunstancias, la evaporación del suelo depende grandemente de las condiciones externas de evaporatividad, la retentividad hídrica de los estratos superficiales y las propiedades de transmisión propias del perfil (Hillel 1972, Bidlake y Boetcher 1997);

además de otros parámetros como el área foliar y la orientación de las hojas en el dosel.

Las plantas transpiran a una tasa potencial dominada por la energía disponible o almacenada en las superficies transpirantes cuando existe suficiente humedad en la zona radical. En el momento en que el agua útil del suelo comienza a ser limitante por efecto de la evapotranspiración debido a la reducción del ingreso de agua por lluvia o riego las plantas empiezan a regular su flujo transpiratorio a través de los estomas, hasta que el agua útil del suelo disminuye a un punto que se denomina “punto de marchitez permanente”, en el cual el agua se encuentra retenida con tal fuerza que el gradiente de potencial hídrico no puede removerla causando la marchitez irreversible de las plantas (Kramer 1989). Sin embargo, el punto de marchitez permanente no puede ser registrado como una constante, porque la marchitez depende de la pérdida de turgor de las hojas y esta es determinada por las propiedades osmóticas de las plantas, la cual puede variar con el tiempo y entre especies (Slatyer, 1957).

La transpiración en las plantas durante un periodo considerado puede producirse a partir de dos regímenes de humedad en el suelo, uno de ellos corresponde a niveles de humedad iguales o superiores a los asociados con el marchitamiento incipiente de las hojas. Estos niveles de humedad aseguran un flujo continuo de agua al cultivo manteniendo la tasa máxima de transpiración, determinada por la evaporatividad atmosférica. Los estomas permanecen plenamente abiertos y no hay limitación de la transpiración ni de la fotosíntesis. La otra situación corresponde con niveles de humedad entre los puntos de marchitez incipiente y permanente. La transpiración se reduce gradualmente a medida que los estomas responden a la creciente escasez de agua cerrándose más y por periodos más largos de tiempo. (Bidlake y Boetcher 1997). La consecuencia de la transpiración es especialmente evidente en los cultivos, donde se puede requerir varios

centenares de litros de agua para producir un kilogramo de materia seca (Azcon-Bieto y Talon 2001).

Bajo este enfoque, la cantidad de agua pérdida por evapotranspiración resulta fuertemente influenciada por factores climáticos como la radiación solar que provee energía para el proceso, el contenido de vapor atmosférico y el movimiento del viento que controla el fenómeno de flujo de calor y del vapor (Tanner 1960). Generalmente, la evapotranspiración puede ser medida independientemente o estimada del balance hídrico, si todos los componentes son conocidos. Al respecto, existen ciertos métodos que consideran los parámetros atmosféricos tales como la temperatura del aire, humedad, radiación solar, viento y otros. Sin embargo, estos métodos tienen ciertas limitaciones porque no toman en cuenta factores de la planta y del suelo (Reichardt, et al. 2001).

3. HIPOTESIS

En el presente capítulo se plantea la siguiente hipótesis de acuerdo a la dirección que se espera sigan los procesos hídricos en el kikuyo ubicado en un ambiente de Selva Nublada montano baja, de acuerdo al comportamiento asumido ante el corte y la oscilación en la disponibilidad de agua en el suelo.

En pastizal kikuyo establecido en selva nublada, Ataroff y Rada (2000) predicen que el incremento en pastoreo aumentara la escorrentía superficial y evaporación del suelo y decrecerá intercepción y transpiración como consecuencia de la disminución en cobertura e índice de área foliar. Considerando tales condiciones, el efecto de corte en la biomasa aérea de *P. clandestinum* puede modificar la distribución y magnitud de los flujos hídricos. En este sentido, se espera que tanto la precipitación neta como el drenaje a 30cm dentro del suelo incrementen conforme aumenta la severidad en el corte.

4. OBJETIVOS

General

Evaluar el impacto ecológico que produce el efecto de corte continuo sobre la dinámica hídrica del Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov) en un área de selva nublada montano baja mediante mediciones diarias de los principales flujos hídricos durante periodos húmedo y seco

Específicos

- ✕ Calcular la cantidad de agua que ingresa al sistema por precipitación vertical y estimar la evaporación del follaje por intercepción, basado en la medición de precipitación neta total en los tratamientos sin corte, con corte a 10 cm y con corte a 5 cm.
- ✕ Determinar el volumen de agua que escurre sobre la superficie del suelo en los tratamientos sin corte, con corte a 10 cm y con corte a 5 cm.
- ✕ Establecer a través de determinaciones gravimétricas el comportamiento del almacenamiento de agua en el suelo cuando el pastizal es sometido a distintos grados de corte en periodos húmedo y seco.
- ✕ Establecer a través del proceso de drenaje el volumen de agua que sobrepasa los primeros horizontes funcionales del suelo.
- ✕ Estimar la biomasa aérea y subterránea presentes en los tratamientos sin corte, con corte a 10 cm y con corte a 5 cm durante los periodos húmedo y seco.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. MEDIDAS DE FLUJOS HIDRICOS

Para las medidas de precipitación vertical (PPv), se instalaron tres pluviómetros a una altura aproximada de 1,7m, consistentes en un embudo con área de captación de $0,0125\text{m}^2$ conectado a una manguera en forma espiral, la cual desembocaba en un recipiente de 2L. Las medidas fueron diarias, a las 07:00horas, durante el período húmedo y se compararon con las del pluviógrafo de banda de medición continua (marca R. Fuess) de la estación meteorológica del I.I.A.P.

Las medidas diarias de estos dispositivos se realizaron desde el 18/11/2002 al 22/12/2002 (35 días) correspondientes al período húmedo. En este período las parcelas recibieron la precipitación vertical más un aporte adicional con riego por aspersión durante una hora los días que no hubo lluvia (8 días). Las medidas de riego se hicieron inmediatamente después de transcurrida la hora de aspersión (2 aspersores, Figura 1.2), con pluviómetros con área de captación de $0,0078\text{m}^2$ colocados en el piso (uno por cada unidad experimental, Figura 1.2). Este aporte hídrico artificial se realizó del 4 al 8/12/2002 y del 13 al 15/12/2002. La cantidad de agua por esta vía fue incorporada a la que ingresó por precipitación vertical y los datos se homogenizaron para producir un solo valor diario de precipitación total.

En cada unidad experimental se instaló una parcela de escurrimiento de $5 \times 2\text{m}$ (10m^2) para medir el deslizamiento superficial de agua (Figuras 1.2 y 3.1). Cada parcela consta de un área de captación aislada lateralmente por láminas de acerolit, insertadas verticalmente hasta 15cm de profundidad. En la parte inferior (en el sentido de la pendiente) se colocó una canal colector de polivinilo, con un tamiz de 1mm en el bajante hacia un depósito de agua. Las mediciones fueron diarias.

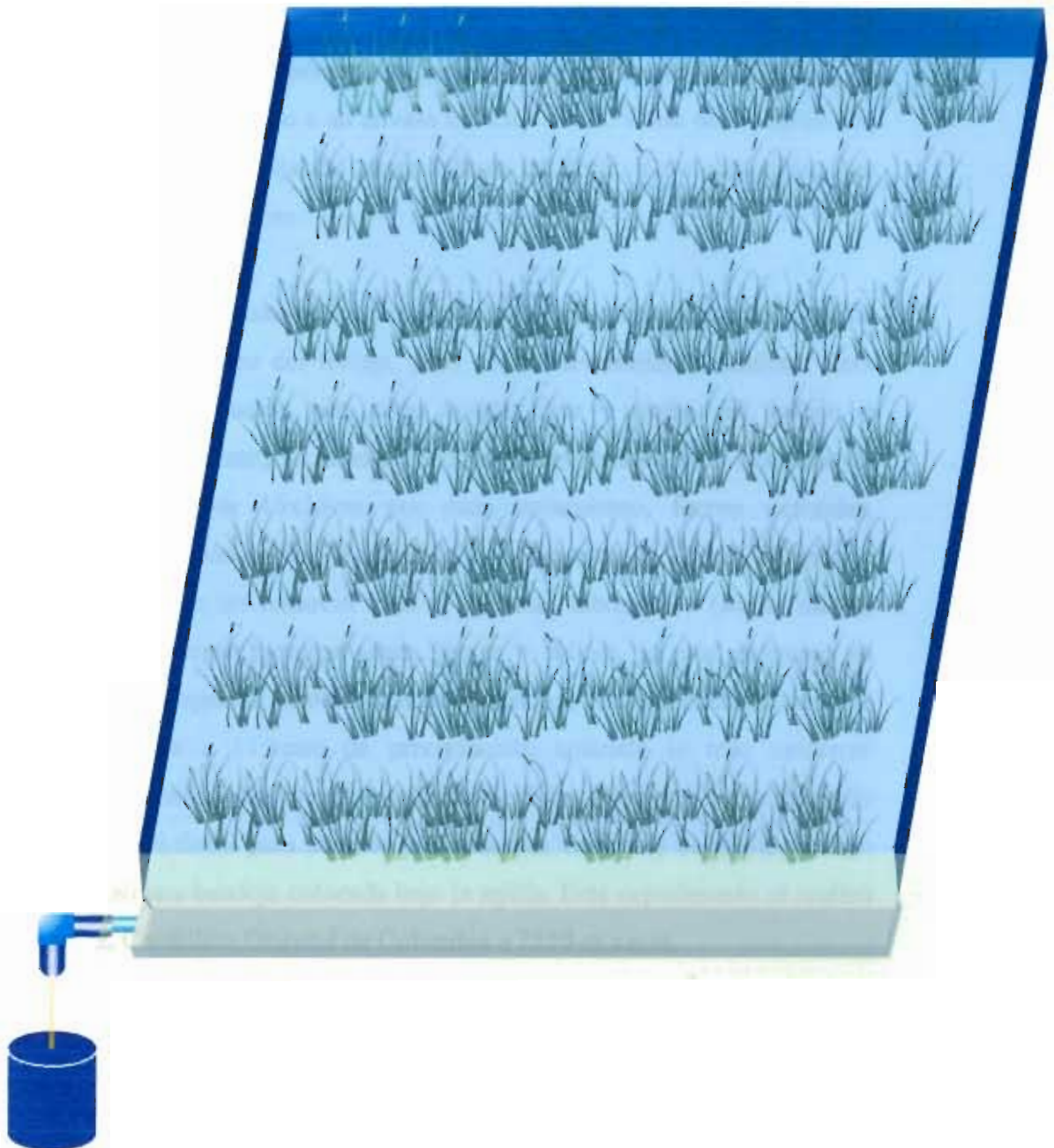


Figura 3.1. Dispositivo de escorrentía superficial utilizado para estimar el agua que se desliza superficialmente sobre las unidades experimentales.

Para las medidas de precipitación neta, se instaló en cada unidad experimental un pluviómetro de tipo canal de 2.66 x 0.017 m, con un área de captación de 0.0452m² construido con un tubo de PVC de 2cm de diámetro con abertura superior longitudinal de 1.7cm de ancho (Figura 1.2). Cada canal fue conectado a un envase colector de 2L. Cada pluviómetro fue instalado bajo el follaje del pasto kikuyo es decir, a ras del suelo. Las mediciones fueron diarias.

Las medidas hechas con pluviómetro tipo canal sólo consideran el agua de caída libre y el goteo del follaje, pero no el escurrimiento caulinar. Para evaluar la precipitación neta total (caída libre + goteo del follaje + escurrimiento caulinar) se diseñó el siguiente experimento: 3 muestras de pastizal Kikuyo de 15x15cm por cada tratamiento, fueron extraídas, colocadas sobre una rejilla de alambre de cobre (celdas 1,5cm) de iguales dimensiones y se les removió todo el material subterráneo (suelo, raíces) dejando únicamente biomasa aérea (hojas + tallos), la cual mantuvo su configuración espacial; posteriormente se rociaron con una cantidad de agua correspondiente a 11,1mm de precipitación aplicada lo más uniforme posible mediante un envase con pequeños orificios dispuesto a una altura de 10cm sobre el dosel para simular precipitación vertical y se midió el flujo que alcanzó una bandeja colocada bajo la rejilla. Este experimento se realizó en Mejué, Cordillera Oriental de Colombia a 2550 m.s.n.m.

La intercepción se estimó como la cantidad de agua que permanece sobre el follaje y es equiparable a la evaporación desde hojas y tallos. Su cálculo se obtiene de la diferencia entre precipitación total (precipitación vertical+riego) y la precipitación neta total. El drenaje vertical fue medido mediante lisímetros monolíticos (Jordan 1968; Acevedo 1988; Sarmiento 1995) instalados uno en cada unidad experimental (Figuras 1.2 y 3.2). Este dispositivo consiste en un envase de metal galvanizado de 4mm de espesor, de aproximadamente 20 cm de diámetro y 30cm de profundidad

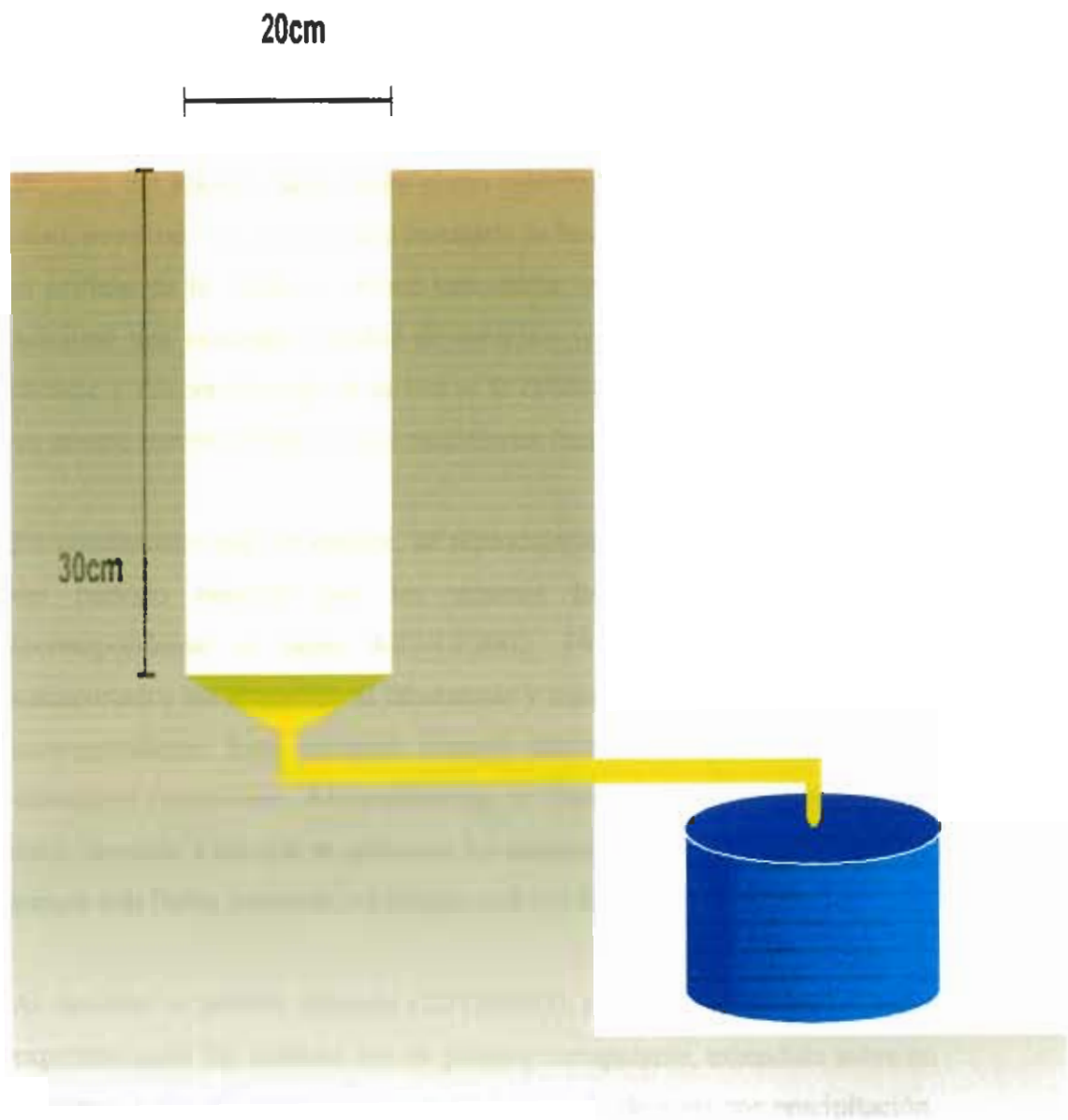


Figura 3.2. Lisímetro monolítico instalado en cada unidad experimental

(profundidad promedio de enraizamiento efectivo de *P. clandestinum*). Cada lisímetro se introdujo en el suelo empleando una mandarina con el fin de mantener la estructura del suelo lo menos alterada posible y respetar la biomasa del kikuyo, tanto aérea como subterránea. Finalizado este primer paso, se extrajo el cilindro para instalarle la base con forma de embudo. En el orificio de la base se colocó una malla plástica fina y sobre ella se adicionó una pequeña cantidad de arrocillo (piedra fina) para facilitar el drenaje y retener el suelo. A la vez se le conectó una manguera acoplada a un envase receptor plástico. Las mediciones fueron diarias.

En condiciones experimentales, se reprodujeron las condiciones de campo del período húmedo con los mismos lisímetros, en tiempo real (correspondiente al lapso 4-22/12/2002, 19 días), los cuales fueron transportados sin alteración al laboratorio y mantenidos bajo el tipo de corte correspondiente. Esto permitió corregir datos de campo en los que se detectaron filtraciones. Adicionalmente, se mantuvieron tres lisímetros con suelo desnudo a los que se aplicaron los mismos montos de precipitación de campo con lluvia simulada, en tiempo real (19 días).

Al finalizar el período húmedo (22/12/2002), el área total de las unidades experimentales fue cubierta con un plástico transparente, extendido sobre un soporte a 1,5m del suelo, para impedir la entrada de agua por precipitación, pero no el paso de luz solar y así lograr simular un período de sequía, el cual duró 44 días (23/12/2002 al 4/02/2003) aunque las medidas de transpiración fueron realizadas el 5/03/2003 y 13/03/2003 (Figura 3.3). El ingreso de agua extra por flujo subsuperficial proveniente de áreas adyacentes, se evadió mediante la construcción de una zanja de 50 cm de profundidad en la cabecera del “potrero 4”, teniendo en cuenta el sentido de la pendiente.

El porcentaje de agua en el suelo fue medido mediante el método gravimétrico. En cada unidad experimental se recogió una muestra de suelo

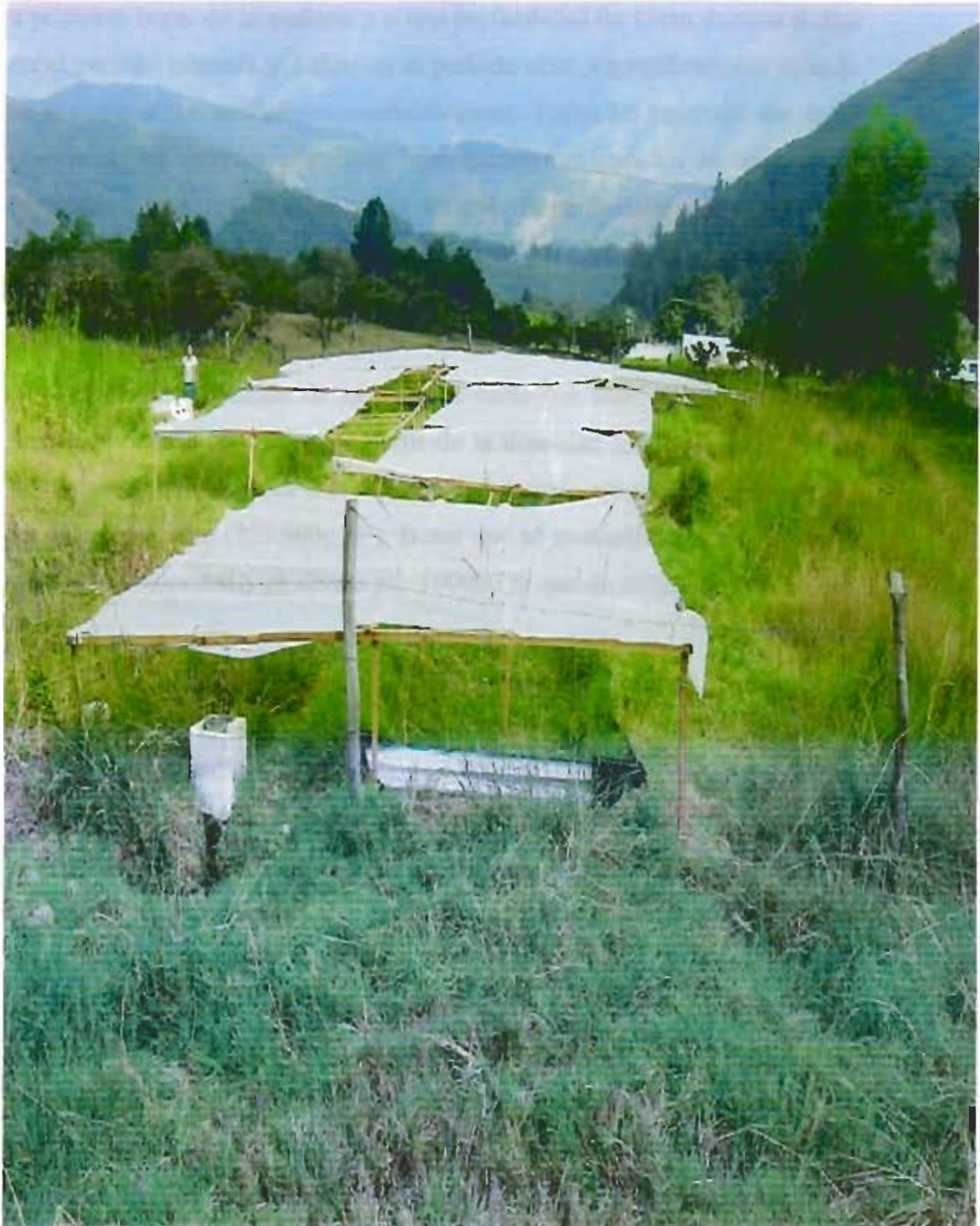


Figura 3.3. Unidades experimentales con cubierta plástica transparente.

a primeras horas de la mañana y a una profundidad de 15cm durante 6 días en el periodo húmedo y 8 días en el periodo seco, específicamente cuando se realizaron las mediciones ecofisiológicas. Todas las muestras de suelo contenidas en envases metálicos herméticamente cerrados se llevaron al laboratorio para ser pesadas (peso fresco). Posteriormente el material se introdujo en una estufa a una temperatura de 110°C por un periodo de tres días hasta peso constante y nuevamente se peso (peso seco).

El cálculo del contenido de agua en el suelo (en mm) se obtuvo para el primer horizonte (0 – 27cm) a partir de la densidad aparente $0,94\text{g cm}^{-3}$ y del volumen ocupado por este horizonte, los cuales se multiplicaron dando un valor constante (253.800g/m^3), factor que se multiplica por el contenido relativo de humedad y se divide por 100000 lo que da milímetros de lluvias (L/m^2).

Al comienzo del estudio se abrió una calicata, debido a la homogeneidad del terreno y se procedió a la toma de muestras de cada uno de sus horizontes con el fin de determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo. En el respectivo perfil se tomó una muestra de cada horizonte, a 0 - 27cm, 27 – 46cm y 46 – 80cm (Anexo B). Los dos primeros incluyen el nivel principal de enraizamiento de *P. clandestinum*. Las muestras de suelo fueron analizadas en el laboratorio del Instituto de Geografía de la Universidad de Los Andes, según la siguiente metodología: textura por el método de Bouyoucos; carbono orgánico, método de combustión húmeda; nitrógeno total, método de Kjeldahl modificado; pH, método potenciométrico; aluminio cambiante por el método de Yuan; y bases cambiables por espectrofotometría de absorción atómica y fotometría de emisión atómica. También se determinó la clase de textura y se obtuvo la curva de retención de humedad, que permitió establecer el contenido de agua en que el suelo alcanza capacidad de campo y marchitez permanente.

La metodología planteada fue utilizada para medir o estimar entradas, salidas y reservorios de agua aplicando los componentes descritos en la fórmula de balance hídrico. Los componentes hídricos del agroecosistema (Figura 3.4) se obtienen de acuerdo a las ganancias y pérdidas en agua según la ecuación del balance hidrológico:

$$PPt = PPv + R = I + Pnt = I + Esc + \Delta S + Ev + E + Dr$$

donde PPt= Precipitación total, PPv= precipitación vertical, R= Riego, Pnt = precipitación neta total, I= intercepción, Esc= Escurrimiento superficial, ΔS = Almacenamiento de agua en el suelo, Ev = Evaporación del suelo, E = Transpiración, Dr= Drenaje

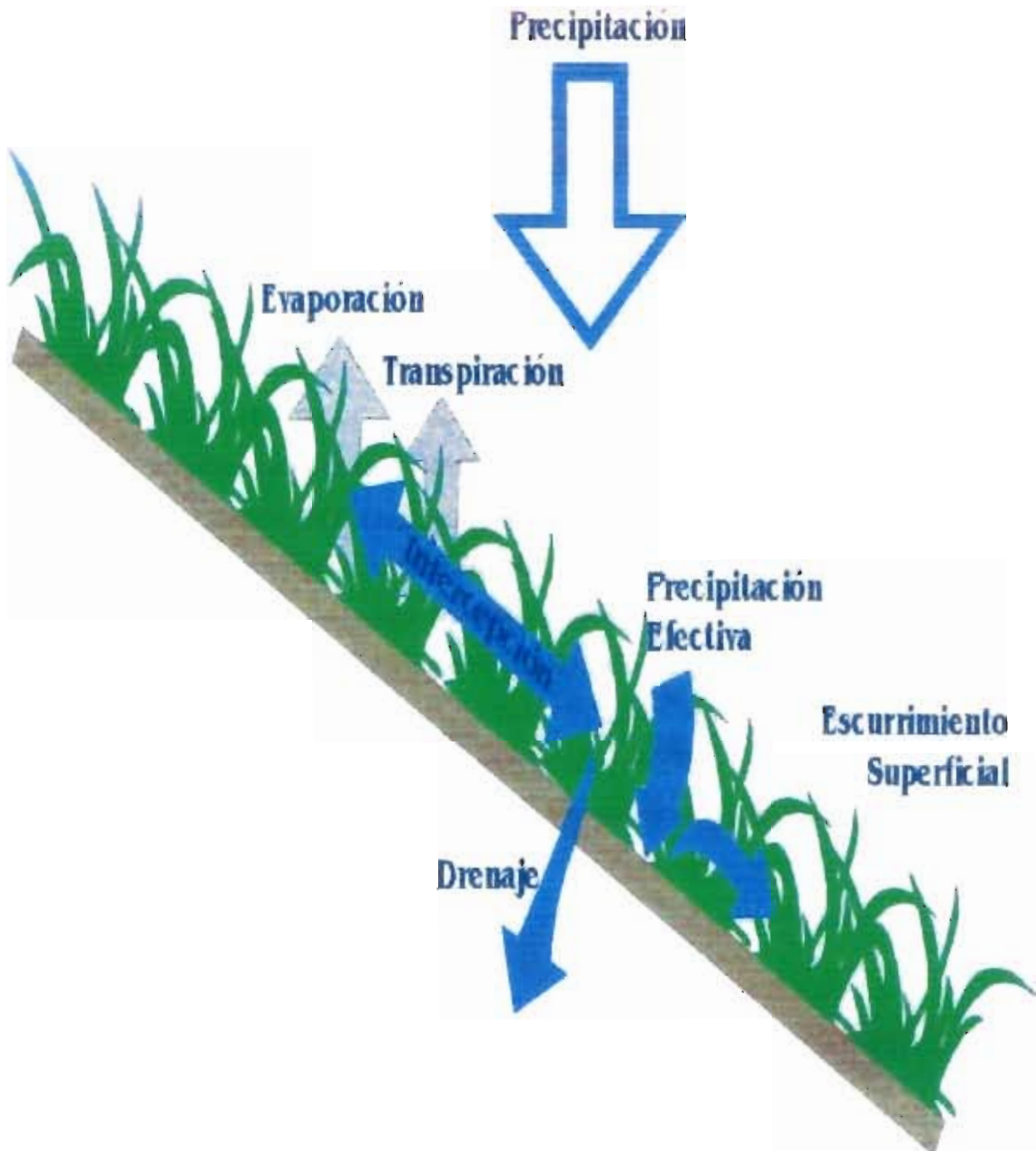


Figura 3.4. Componentes a nivel de entrada (precipitación total y precipitación efectiva), reserva (almacenamiento de agua en el suelo) y salida (intercepción, escurrimiento superficial, drenaje, evaporación y transpiración) en el balance hídrico del pastizal de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov).

5.2 PARAMETROS DE LA VEGETACION

5.2.1. Biomasa aérea total, radicular y estructura

La extracción de biomasa aérea total (g/m^2) en cada unidad experimental se realizó mediante el método de cosecha destructiva en áreas de 15 x 15 cm. La biomasa foliar fue estimada a partir de este material aéreo. La estructura aérea se determinó con la extracción de biomasa en un área de 25 x 25 cm, la cual se separó por estratos cada 5cm. La biomasa radicular se estimó a partir de muestras de suelo extraídas en un área de 5 x 5 cm y una profundidad de 10 cm correspondiente al primer horizonte (0-10cm) en donde se encuentra la mayor proporción de raíces. Posteriormente, las muestras se colocaron en bolsas de papel y se sometieron a secado durante 96 horas (4 días) en una estufa a 72°C, procediéndose luego a su pesada en una balanza electrónica marca Mettler BB2400 con un campo de pesada de 0- 2000 g y una precisión de lectura de 0,1g. Las medidas de biomasa aérea total fueron realizadas 14 días después de iniciado el periodo húmedo (1/12/2002) y 16 y 41 días después de iniciado el periodo seco (7/01/2003 y 1/02/2003, respectivamente). Durante este mismo tiempo se estimó la biomasa aérea por estratos, con excepción de la medida del 7 de enero, la cual se realizó el 16/01/2003. Las medidas de biomasa subterránea se realizaron 14 días después de iniciado el periodo húmedo (1/12/2002) y 41 días después de iniciado el periodo seco (1/02/2003).

5.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico fue conducido usando el SPSS Inc (1996). Los datos se analizaron mediante un test de Friedman, prueba no paramétrica que permite comparar los tratamientos (3) y probar las diferencias entre las medias. Básicamente se calculó propiedades estadísticas como la media y el error estándar para cada uno de los tratamientos de corte y control (sin corte). Igualmente, se realizó unas pruebas de correlación de Spearman entre la precipitación total y los otros componentes del balance hídrico. La

biomasa aérea, estructura aérea y biomasa radical se analizó mediante un modelo lineal generalizado aditivo, correspondiente a un diseño factorial.

6. RESULTADOS

Los resultados de algunos componentes del balance hídrico del pastizal *P. clandestinum* bajo los diferentes cortes durante el período lluvioso 18 noviembre – 22 diciembre (2002), se presentan en las tablas 3.1, 3.2 y 3.3, discriminando los componentes en lapsos de 5 días y expresándolos como un porcentaje de la precipitación total. Los datos de precipitación total, precipitación neta parcial, escurrimiento superficial y drenaje fueron registrados diariamente y acumulados en este análisis. Los valores de precipitación neta total medida experimentalmente se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.1. Componentes del balance hídrico para lapsos de cinco días en : pastizal sin corte (control). Noviembre - diciembre 2002. Valores entre paréntesis: % en relación a la precipitación total.

Lapsos	1	2	3	4	5	6	7	Total
Precipitación total (mm)	16,0	0,11	4,2	44,3	56,0	24,4	47,4	192,4
Precipitación neta parcial (mm)	5,1	0	2,0	10,0	20,6	4,9	12,4	55,0
%	(31,9)	(0)	(46,8)	(22,6)	(36,7)	(20,3)	(26,2)	(28,6)
Escurrimiento superficial (mm)	0,07	0	0,023	0,27	0,20	0,04	0,29	0,89
%	(0,44)	(0)	(0,55)	(0,61)	(0,36)	(0,16)	(0,59)	(0,46)
Drenaje (mm)	1,60	0	0,07	10,0	18,8	0,18	12,0	42,7
%	(10,0)	(0)	(1,7)	(22,7)	(33,5)	(0,75)	(25,3)	(22,2)

*: Precipitación total = precipitación vertical + riego (cuando se aplicó)

Tabla 3.2. Componentes del balance hídrico para lapsos de cinco días en el pastizal con corte a 10cm de altura. Noviembre - diciembre 2002. Valores entre paréntesis: % en relación a la precipitación total.

Lapsos	1	2	3	4	5	6	7	Total
Precipitación total (mm)	16,0	0,11	4,2	44,3	56,0	24,4	47,4	192,4
Precipitación Neta parcial (mm) (%)	10,91 (68,1)	0 (0)	2,7 (64,0)	24,8 (56,0)	26,3 (47,0)	10,5 (43,0)	20,3 (42,9)	95,6 (49,7)
Escurrimiento superficial (mm) (%)	0,13 (0,81)	0 (0)	0,033 (0,79)	0,17 (0,38)	0,043 (0,08)	0,14 (0,57)	0,05 (0,11)	0,57 (0,3)
Drenaje (mm) (%)	0,47 (2,9)	0 (0)	0,08 (1,8)	18,3 (41,3)	34,8 (62,1)	13,9 (56,9)	22,4 (47,3)	89,9 (46,7)

*: Precipitación total = precipitación vertical + riego (cuando se aplicó)

Tabla 3.3 Componentes del balance hídrico para lapsos de cinco días en el pastizal con corte a 5 cm. Noviembre - diciembre 2002. Valores entre paréntesis: % en relación a la precipitación total.

Lapsos	1	2	3	4	5	6	7	Total
Precipitación total* (mm)	16,0	0,11	4,2	44,3	56,0	24,4	47,4	192,4
Precipitación Neta parcial (mm) (%)	11,3 (70,6)	0 (0)	2,9 (70,2)	20,1 (45,5)	29,4 (52,4)	9,4 (38,4)	21,1 (44,5)	94,2 (49,0)
Escurrimiento superficial (mm) (%)	0,13 (0,81)	0 (0)	0,038 (0,91)	0,61 (1,4)	0,41 (0,73)	0,09 (0,37)	0,18 (0,38)	1,5 (0,76)
Drenaje (mm) (%)	2,4 (15,1)	0 (0)	0,01 (0,24)	12,3 (27,7)	30,4 (54,2)	12,6 (51,5)	19,5 (41,1)	77,1 (40,1)

*: Precipitación total = precipitación vertical + riego (cuando se aplicó)

Tabla 3.4. Intercepción y precipitación neta total en pastizal de *P. clandestinum* con precipitación vertical simulada de 11,1mm, en tratamientos sin corte, con corte a 10cm y a 5cm de altura.

Tratamiento	Intercepción	Precipitación Neta total
Sin corte (mm)	3,2	8,0 ± 1,6
%	28,6	71,4
10cm (mm)	1,7	9,4 ± 0,2
%	15,1	84,9
5cm (mm)	1,2	9,9 ± 0,2
%	10,5	89,5

6.1. Precipitación vertical

El comportamiento de la precipitación vertical anual promedio en el área de estudio es bimodal sin meses secos (figura 3.5). El climadiagrama de estación meteorológica Santa Rosa (IIAP) durante el período comprendido entre 1967 al 2003, muestra un promedio de 1994,02 mm (entre 1132,6 y 2695,7 mm), en el cual los meses menos lluviosos corresponden a diciembre-marzo, y julio, con valores mínimos absolutos en enero (72,21 mm) (figura 3.8). En general, la temperatura promedio anual registrada en la estación meteorológica fue 22,3°C (mínima media de 12,2°C y máxima media de 23,5°C).

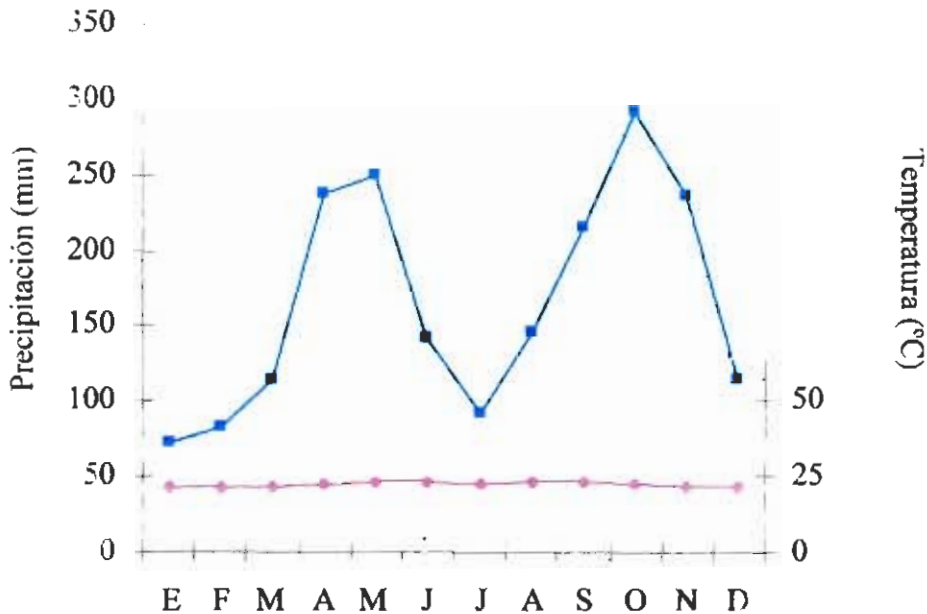


Figura 3.5. Climadiagrama de la Estación Experimental Santa Rosa. Datos de precipitación del periodo 1967 al 2003 registrados por la estación meteorológica del Instituto de Investigación Agropecuaria (IIAP). Promedio anual de precipitación y temperatura (parte superior izquierda y derecha del diagrama).

El análisis de secuencias de días consecutivos sin lluvia (Figura 3.6) mostró que la probabilidad de ocurrencia de más de 5 días seguidos sin lluvia es muy baja. Los días consecutivos sin lluvia más factibles para producirse resultan notablemente en 1 día con una frecuencia de 0,45, valor que se reduce gradualmente a la mitad en 2 días (frecuencia de 0,22) y en 3 días (frecuencia de 0,11), obteniéndose un valor porcentual total para los tres días de 77,2%.

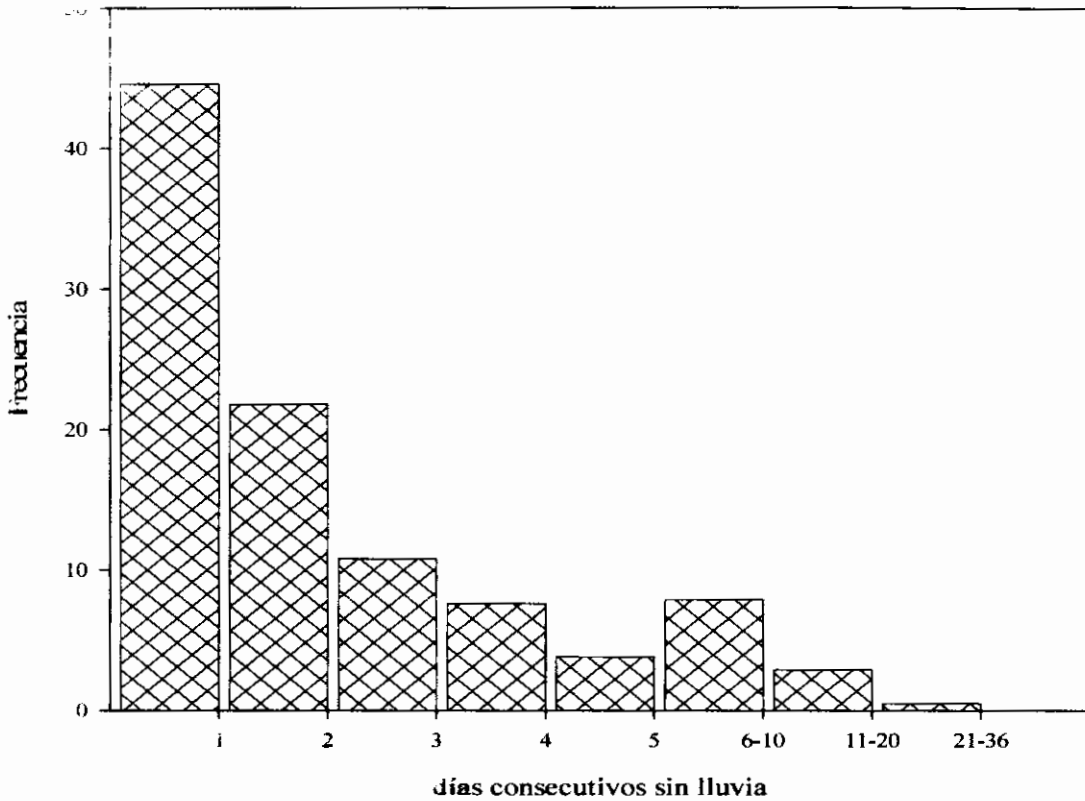


Figura 3.6. Frecuencia de días consecutivos sin lluvia en la Estación Experimental de Santa Rosa (IIAP) para el periodo 1974-2005.

La precipitación total ($P_{Pt} = P_{Pv} + R$) para los 35 días medidos en el período húmedo noviembre-diciembre 2002 fue de 192,4 mm, de los cuales 130,6mm fueron de precipitación vertical y 61,8 mm de riego (figura 3.7). Las mayores medidas diarias de precipitación total (precipitación vertical) fueron 26,5 mm y 28,8 mm. La media diaria de ingreso fue 5,5 mm para los 35 días y de 9,1 mm para la segunda mitad del período (días 17 al 35), lo cual corresponde a un período lluvioso para la zona ya que el promedio diario para los 5 meses más lluviosos resultó 4,5 mm (abril, mayo, septiembre, octubre, noviembre).

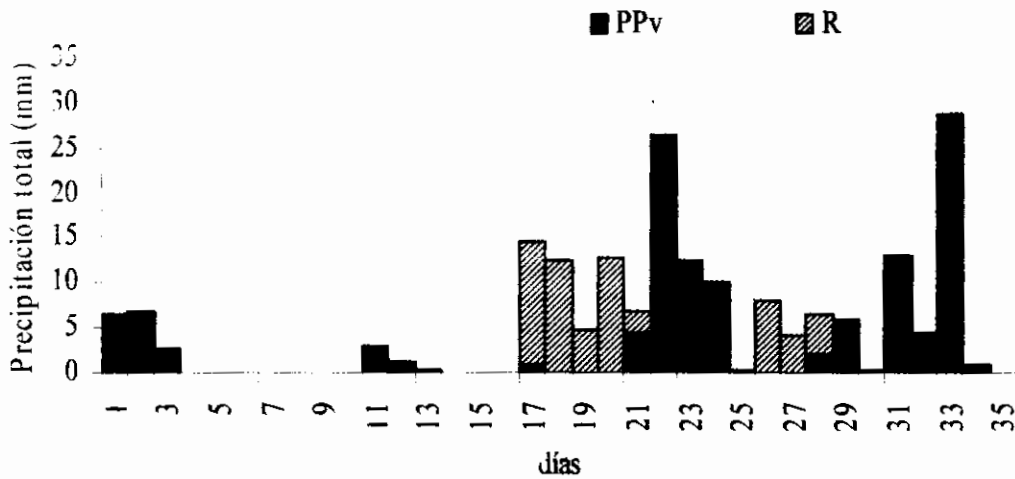


Figura 3.7. Precipitación total diaria ($P_{Pt} = PP_v + R$) durante el período lluvioso en el área de estudio. Barras negras: precipitación vertical (PP_v); barras rayadas: riego (R)

6.2 Precipitación neta

La cantidad de agua que llega a la superficie del suelo por goteo del follaje y caída libre constituye la precipitación neta parcial (P_{np}). Para el período húmedo la P_{np} fue 28,6% de la P_{Pt} para el pasto sin corte (entre 11,0 y 58,1%), 49,7% para el pasto con corte a 10 cm (entre 12,46 y 79,3%) y 49,0% para el pasto con corte a 5 cm (entre 19,4 y 84,7%) (Tablas 3.1, 3.2 y 3.3). En general, la P_{np} disminuyó conforme se redujo el monto de la precipitación (figura 3.8). Sin embargo, los resultados muestran que, aun en días con $P_{Pt}=0,5$ mm se registró P_{np} . Sólo los registros de $P_{Pt} < 0,1$ mm fueron completamente interceptados por el follaje en todos los distintos tratamientos del pastizal.

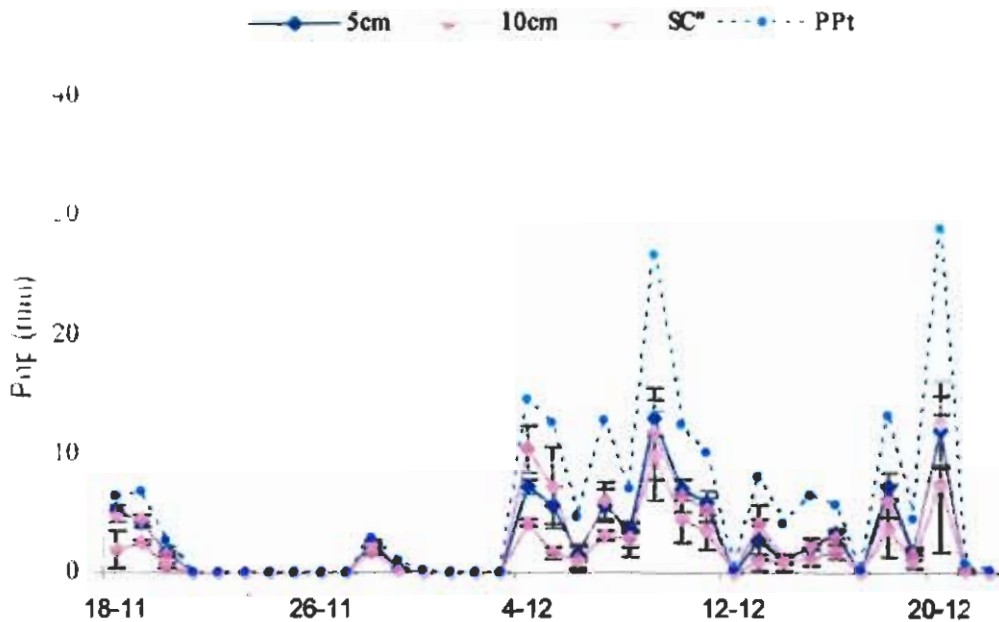


Figura 3.8. Dinámica de la precipitación total (PPt) v precipitación neta parcial (Pnp) (mm±error estandar) para los tres tratamientos del pastizal de *P. clandestinum* durante el periodo húmedo noviembre-diciembre 2002.

La precipitación neta parcial en el pastizal sin corte fue significativamente menor que en los tratamientos con corte (Test de Friedman, $X^2 = 35,76$, $p < 0.001$). La distribución de la precipitación neta parcial en el pastizal sin corte permitió claramente apreciar que en las mayores precipitaciones diarias la cantidad de agua que cae libre y por goteo directo hacia el suelo constituye un pequeño monto. Al respecto, la precipitación neta parcial más alta (58,1%) correspondió a la precipitación diaria de 3,0 mm antecedida por 7 días sin lluvia mientras que la menor precipitación neta parcial (11,0%) provino de una precipitación diaria de 8,1 mm, la cual fue antecedida por una precipitación diaria baja (0,17 mm). El patrón de la precipitación neta parcial es similar al registrado por la precipitación diaria (PPt) (Figura 3.8). Se obtuvo una correlación significativa (r_s : 0,92) entre precipitación neta parcial y precipitación total.

Los montos y ritmo de la Pnp del pastizal con corte a 10 cm fueron muy similares al pastizal con corte a 5 cm (Figura 3.8). Al respecto, no existió en la precipitación neta parcial una diferencia significativa entre los tratamientos de kikuyo con una altura de 5 cm y 10 cm ($p = 0,264$). El pastizal con corte a 10 cm de altura presento con las precipitaciones diarias de 0,17 mm y 3,0 mm los valores porcentuales de menor y mayor precipitación neta parcial (12,5% y 79,3%, respectivamente). Se encontró que el nivel de correlación entre la precipitación neta parcial y precipitación total en el pastizal con una altura de 10 cm fue estadísticamente significativo (r_s : 0,95). En el pasto con corte a 5 cm de altura la precipitación neta parcial fue en general, casi dos veces más grande que en el pastizal sin corte. El más bajo porcentaje de precipitación neta parcial (19,4%) se presentó con la precipitación diaria de 0,17 mm, la cual antecedió un registro mayor (5,7 mm). El más alto porcentaje de precipitación neta parcial (84,7%) correspondió a la precipitación diaria de 3,0 mm antecendida por 7 días sin lluvia. Se encontró que el nivel de correlación entre la precipitación neta parcial y precipitación total en el pastizal con una altura de 5cm fue estadísticamente significativo (r_s : 0,95).

La relación entre precipitación neta parcial y precipitación total siguió un modelo binomial resultando altamente significativo para todos los tratamientos (R^2 fue 0,92 para pastizal sin corte, 0,95 con corte a 10cm y 0,96 con corte a 5 cm), como se muestra en las figuras 3.9, 3.10 y 3.11. En cada tratamiento, se evidencia la fuerte dependencia de la Pnp con respecto a la precipitación diaria. Los resultados mostrados por el coeficiente de determinación indican que existe una relación ligeramente más fuerte entre Pnp y PPt en el pastizal de 5cm y el de 10cm de altura con respecto al pastizal sin corte. La relación entre precipitación neta parcial y precipitación total presentó el mejor ajuste con un modelo binomial positivo en el pastizal sin corte y un binomial negativo en los pastizales con corte. Así, el importante efecto del corte en la precipitación neta parcial puede inferirse

por los coeficientes (Figuras 3.9, 3.10 y 3.11) y valores porcentuales totales (Tabla 3.1, 3.2, 3.3) durante el periodo húmedo (Noviembre – Diciembre).

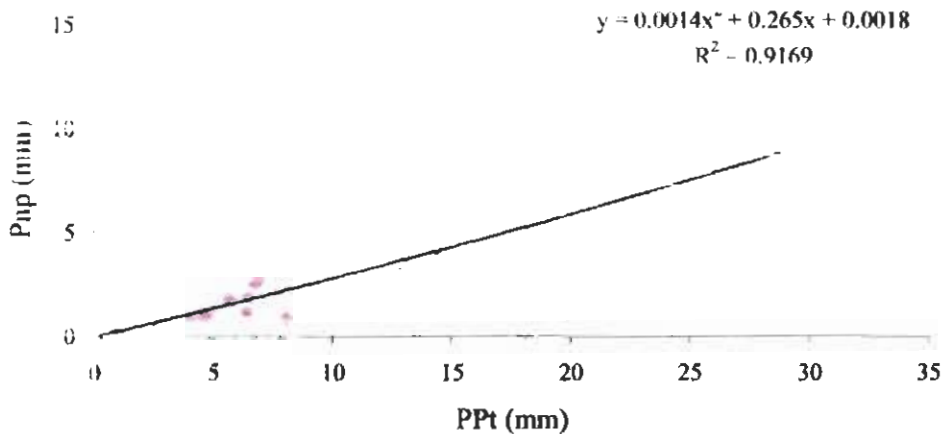


Figura 3.9. Relación entre precipitación neta parcial (Pnp) y la precipitación total (PPt) durante el periodo húmedo en el pastizal de kikuyo (*P. clandestinum*) sin corte.

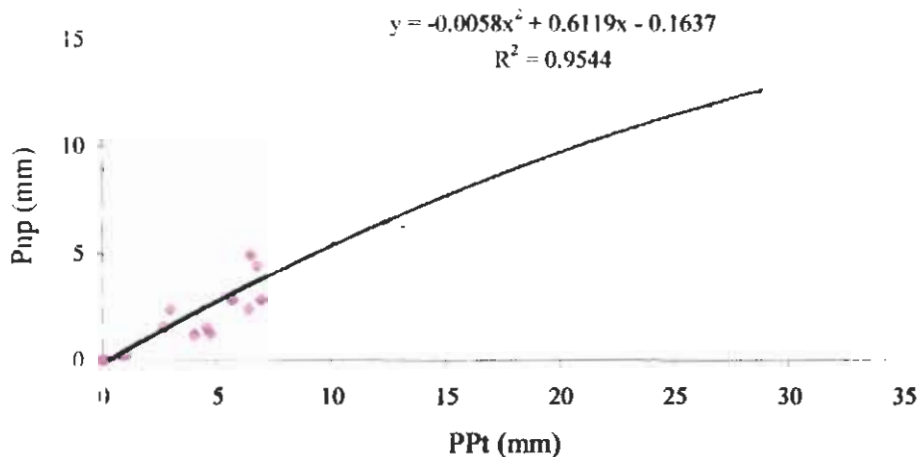


Figura 3.10. Relación entre precipitación neta parcial (Pnp) y la precipitación total (PPt) durante el periodo húmedo en el pastizal de kikuyo (*P. clandestinum*) con corte a 10 cm de altura.

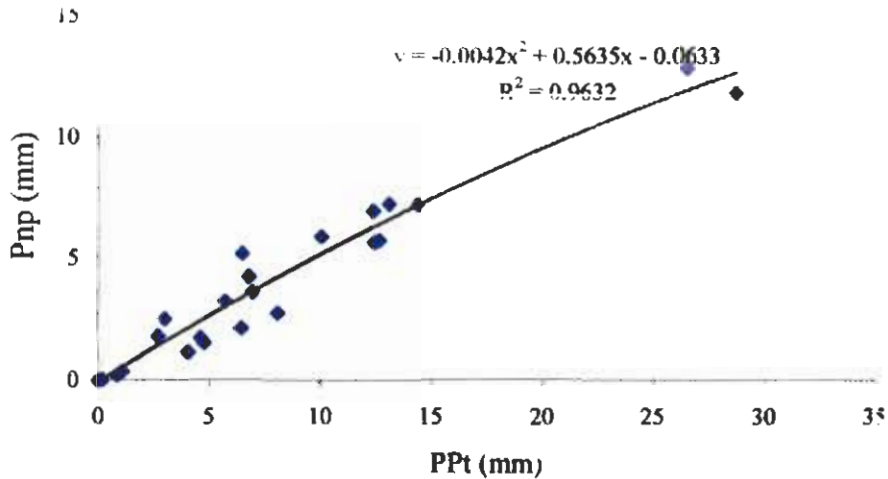


Figura 3.11. Relación entre precipitación neta parcial (Pnp) y la precipitación total (PPt) durante el periodo húmedo en el pastizal de kikuyo (*P. clandestinum*) con corte a 5 cm de altura.

Por otra parte, la precipitación neta total (Pnt) superó a la precipitación neta parcial (Tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4), diferencia provocada por la canalización del flujo de agua vía caulinar en los tres tratamientos. El flujo caulinar determinado para el pastizal sin corte fue 42,8%, para el pastizal con corte a 10cm 35,2% y para el pastizal con corte a 5 cm 40,5%, no correspondiendo estos valores claramente a las modificaciones experimentadas por el efecto mecánico (corte). No obstante, la magnitud de esta medida es grande indicando que la arquitectura del follaje favorece la conducción del agua por esta vía. La precipitación neta total mostró un comportamiento de incremento conforme aumenta la magnitud del corte (Tabla 3.4). En contraste, la interceptación resultó en 28,6% para el pastizal sin corte, 15,1% para el pastizal con corte a 10 cm y 10,5% para el pastizal con corte a 5 cm de altura.

6.3 Escurrimiento superficial

La cantidad de agua que se desliza por la superficie del suelo, denominada escurrimiento superficial corresponde al agua que no logra infiltrarse. En los

pastizales de kikuyo bajo estudio, los valores de escurrimiento superficial resultaron muy bajos en todos los casos (tablas 3.1, 3.2 y 3.3). El pastizal sin corte presentó un valor de 0,46% de la PPt (entre 0,10% y 0,84%), el pasto con corte a 10 cm de altura un valor de 0,29% (entre 0,07% y 1,60%) y el pasto con 5 cm de altura de altura 0,76% (entre 0,17% y 2,08%). De esta manera, el escurrimiento observado en las parcelas con kikuyo a 5 cm de altura resultó mayor que en las parcelas de kikuyo sin corte y con corte a 10 cm de altura (Test de Friedman, $X^2 = 9,16$, $p = 0,010$), mientras que no hubo una diferencia significativa en el escurrimiento observado en las parcelas con una altura de 10 cm y sin corte ($p = 0,310$).

En cuanto al acumulado cada 5 días, los pastizales sin corte y con corte a 5cm de altura exhibieron el valor porcentual más alto en el lapso 4 (0,61% y 1,4%, respectivamente) y el menor valor porcentual en el lapso 6 (0,37% y 0,16%, respectivamente). Este comportamiento cambio en el pastizal con corte a 10 cm de altura que obtuvo el más alto valor porcentual en el lapso 1 (0,89%) y el más bajo valor porcentual en el lapso 5 (0,08%).

La precipitación diaria con mayor magnitud (28,8 mm) generó un mayor escurrimiento superficial en el pastizal sin corte (0,18 mm) con respecto a los pastizales con corte a 10cm (0,02 mm) y 5cm de altura (0,08 mm). El valor porcentual más alto en el pastizal sin corte fue obtenido cuando se registro una precipitación de 4,8 mm (0,84%), monto que antecedió una precipitación de mayor magnitud (12,5 mm). El nivel de correlación entre el escurrimiento y precipitación total en este tratamiento fue estadísticamente significativo (r_s : 0,65). El pastizal con corte a 10 cm de altura alcanzó su mayor valor (0,13 mm, 1,6%) cuando se registro la precipitación de 8,1 mm, antecendida por una insignificante precipitación diaria (0,2 mm) (figura 3.12). En este tratamiento el nivel de correlación entre el escurrimiento y

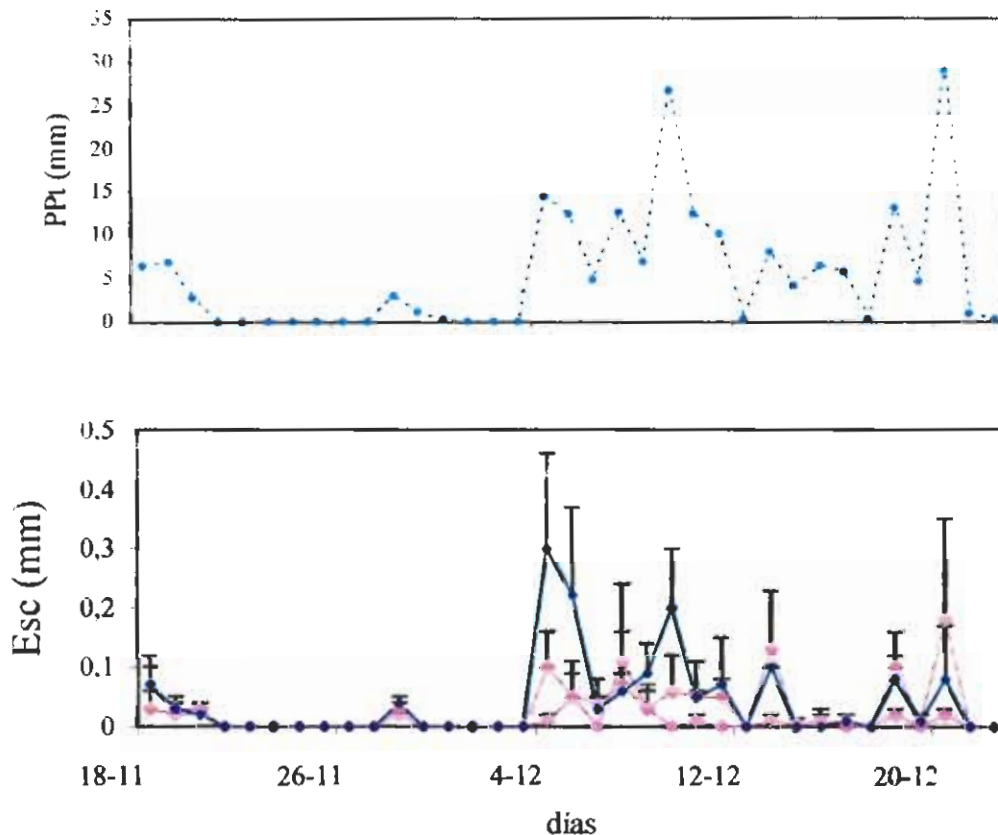


Figura 3.12. Dinámica de la precipitación total y el escurrimiento superficial ($\text{mm} \pm \text{error estándar}$) para los pastizales sin corte (●), con corte a 10cm (◻) y con corte a 5cm (◊) en el pastizal de *P. clandestinum*.

precipitación total fue estadísticamente significativo (r_s : 0,55). En el caso del pastizal con corte a 5 cm de altura, el mayor valor diario absoluto (0,30 mm) y porcentual (2,08%) en escurrimiento superficial se presentó con el registro de precipitación 14,4 mm, monto antecedido por 5 días consecutivos sin lluvia. El segundo pico considerable en escurrimiento superficial (0,2 mm) resultó con el registro de precipitación 26,5 mm, antecedido por un monto menor (6,97 mm) (Figura 3.13). Considerando las mediciones realizadas en el pastizal con corte a 5cm de altura, una relación significativa (r_s : 0,74) fue encontrada entre el escurrimiento y la precipitación total.

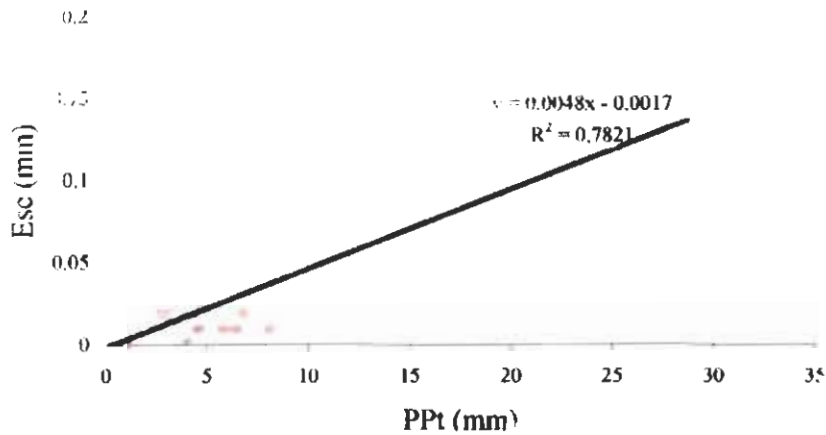


Figura 3.13. Relación entre el escurrimiento superficial (Esc) v la precipitación total (PPt) en el pastizal de kikuyo (*P. clandestinum*) sin corte en el área de estudio.

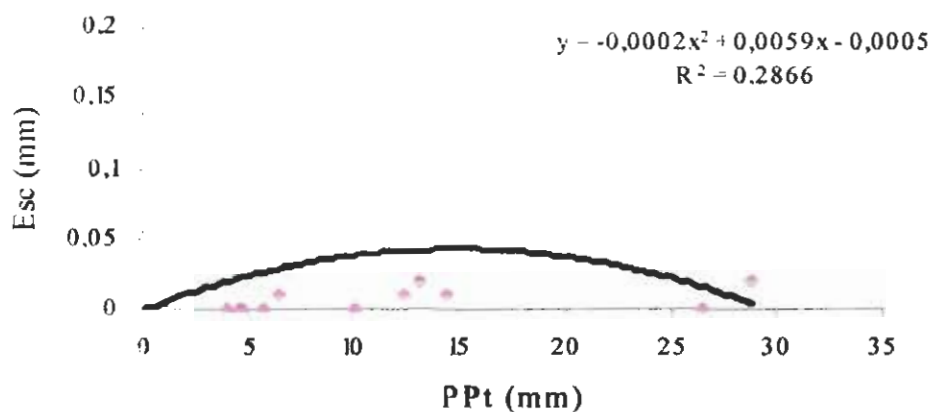


Figura 3.14. Relación entre el escurrimiento superficial (Esc) v la precipitación total (PPt) en el pastizal de kikuyo (*P. clandestinum*) con corte a 10 cm de altura en el área de estudio.

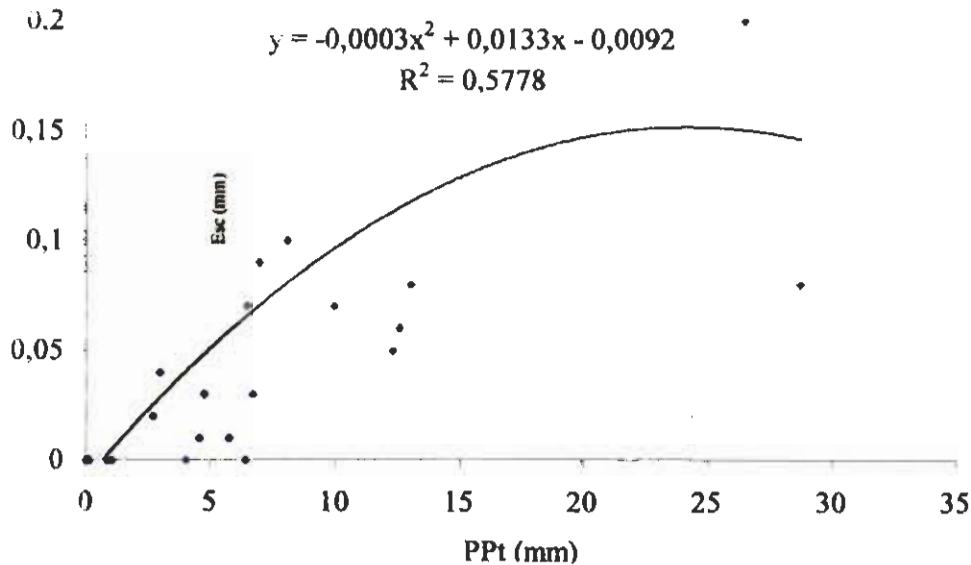


Figura 3.15. Relación entre el escurrimiento superficial (Esc) y la precipitación total (PPt) en el pastizal de kikuyo (*P. clandestinum*) con corte a 5 cm de altura en el área de estudio.

La relación entre escurrimiento superficial y precipitación total siguió un modelo lineal resultando razonablemente significativa en el pastizal sin corte ($R^2 = 0,78$) como se muestra en la figura 3.13. El pastizal con corte a 10 cm no mostró una relación entre las dos anteriores variables ($R^2 = 0,29$) (Figura 3.14). Por otra parte, el pastizal con corte a 5 cm de altura siguió un modelo binomial aunque con una menor relación en comparación al pastizal sin corte, según se aprecia en la Figura 3.15 ($R^2 = 0,58$). Los resultados mostrados por el coeficiente de determinación indican que existe una relación ligeramente fuerte entre Esc y PPt en el pastizal sin corte y una menor en el de 5 cm de altura. Así, el comportamiento de ambos pastizales está asociado de importante manera a las características de la precipitación según se infiere a partir de los coeficientes.

6.4. Almacenamiento de agua en el suelo

El fluctuante contenido relativo de humedad en el horizonte A (0-27cm) durante el periodo húmedo resultó en un valor promedio de 26,0% (23,1%-33,2%) para el pastizal sin corte, 26,0% (21,8-33,1%) para el pastizal a 10 cm de altura y 26,5% (23,1- 33,2%) para el pastizal a 5 cm de altura. Al respecto, no existieron diferencias significativas entre los tratamientos pero si entre los periodos ($p=0,050$).

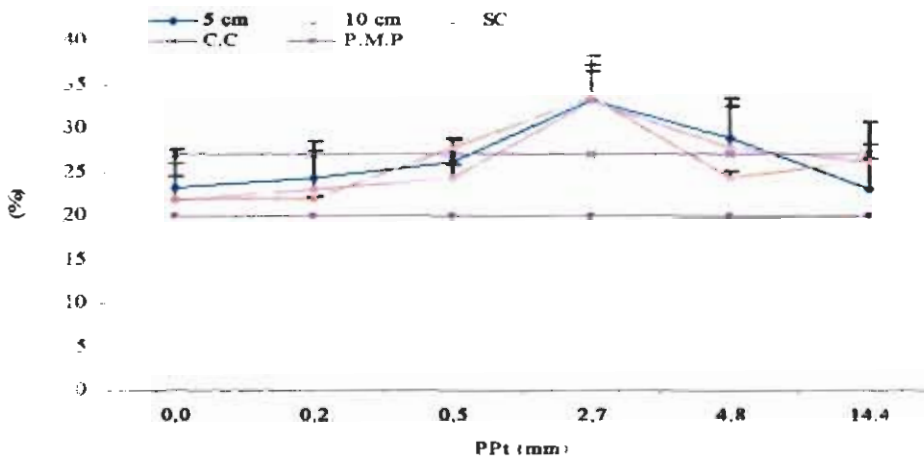


figura 3.16. Relación del contenido relativo de humedad con la precipitación diaria, para los tratamientos de pastizal sin corte (SC), pastizal con corte a 10 cm y 5 cm de altura durante el periodo húmedo de estudio (noviembre-diciembre 2002), CC: capacidad de campo; PMP: punto de marchitez permanente.

La relación entre contenido de humedad relativo y precipitación diaria muestra una respuesta variable del suelo conforme incrementó la precipitación debido a la no uniformidad del riego por aspersión (Figura 3.16). El más alto contenido relativo de humedad reportado en los tres distintos tratamientos en el periodo húmedo de estudio (noviembre – diciembre 2002) se presentó el 20 de noviembre (Precipitación = 2,7mm), correspondiendo a 33,7% en el pastizal sin corte, 33,1% en el pastizal con corte a 10 cm de altura y 33,2% en el pastizal con corte a 5 cm de altura (Figura 3.17). No obstante, se detectó un menor porcentaje de humedad en el pastizal sin corte (27,93%) y con corte a 5 cm de altura (30,82%) (No se

tiene información para el otro tratamiento) a una mayor profundidad (27-46 cm). Estos grandes valores permiten inferir la capacidad de almacenamiento que puede alcanzar el suelo con frecuente precipitación. Este aspecto se evidencia en datos registrados en julio del 2004 durante 5 días, los cuales presentaron un contenido de humedad promedio de 28,3% (23,5 – 32,4%) para el pastizal sin corte, 35,2% (32,2 – 39,0%) para el pastizal con corte 10 cm y 35,1%(30,7-42,0%) para el pastizal con corte a 5 cm.

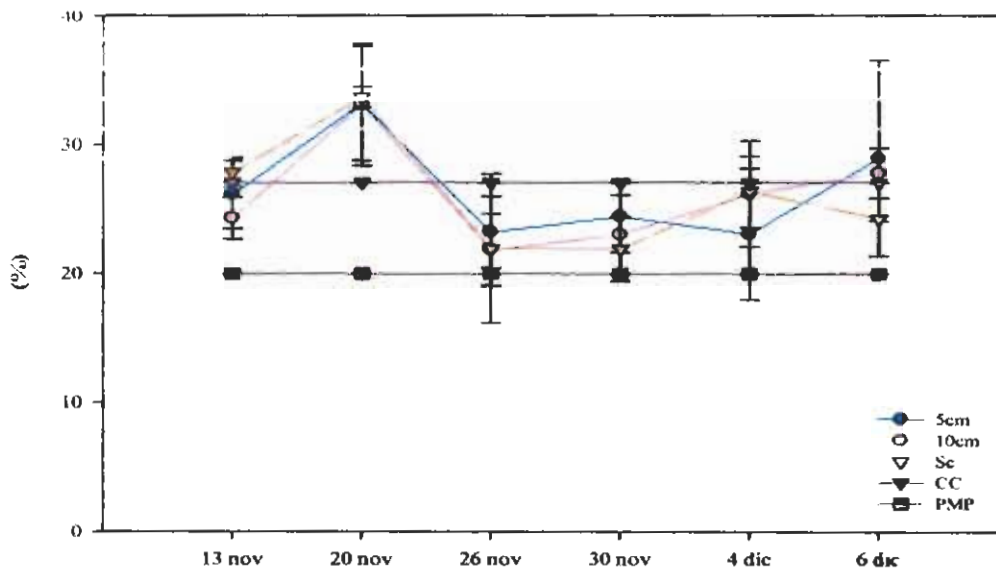


Figura 3.17. Contenido de humedad en porcentaje para los tratamientos de pastizal sin corte (SC), pastizal con corte a 10 cm y 5 cm de altura durante el periodo húmedo de estudio (noviembre-diciembre 2002). CC: Capacidad de campo; PMP: Punto de marchitez permanente.

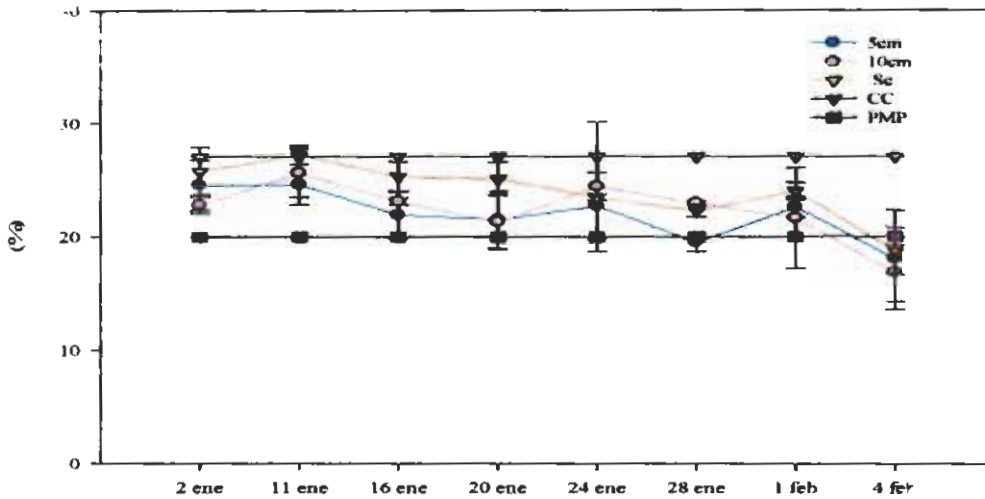


Figura 3.18. Contenido de humedad en porcentaje para los tratamientos de pastizal sin corte (SC), pastizal con corte a 10 cm y 5 cm de altura durante el periodo seco de estudio (diciembre- febrero 2003, bajo cubierta plástica). CC: capacidad de campo; PMP: punto de marchitez permanente.

El contenido de humedad promedio en porcentaje para el periodo seco fue 24,0% (18,7–27,2%) para el pastizal sin corte, 22,7% (16,8 – 26,1%) para el pastizal con corte a 10 cm de altura y 21,9% (18,0 – 24,6%) para el pastizal con corte a 5 cm de altura (Figura 3.18). El punto de marchitez permanente se alcanzó primero en el pastizal con corte a 5 cm (19,5%) a finales de enero. En general, el mayor descenso en contenido de humedad ocurrió 44 días después de iniciado el periodo seco exhibiendo valores el pastizal sin corte de 18,7%, el pastizal con corte a 10 cm de 16,8% y el pastizal con corte a 5 cm de 18,0%. El contenido de humedad a mediados de febrero e inicios de marzo no mostró un gradual descenso en el estatus hídrico del suelo, situación que procedió por el ingreso de agua no aislada con la barrera plástica (Figura 2.8).

6.5. Drenaje

Constituye la parte del agua que ingresa al suelo sobrepasando la profundidad de mayor acumulación de raíces (30 cm). Las mediciones

promedio de drenaje mostraron un valor de 22,2% (0,7-58,2%) para el pastizal sin corte, 46,7% (0,3-67,9%) para el pastizal con corte a 10cm de altura y 40,1% (6,7 – 62,2%) para el pastizal con corte a 5cm de altura, en los 35 días del período húmedo (Tabla 3.1, 3.2, 3.3). Por otra parte, el drenaje medido durante 19 días en suelo desnudo mostró un valor promedio de 52,2% (3,4 – 88,1%).

El drenaje en los tres tratamientos de pastizal kikuyo describe una secuencia que coincide con la presentada por la precipitación diaria (figura 3.19). Los datos obtenidos en el estudio muestran que el pastizal sin corte drenó una gran cantidad de agua durante los picos máximos de precipitación diaria. En este tratamiento, las repentinas caídas de precipitación diaria después de los grandes picos corresponden a un nulo drenaje. El mayor valor porcentual (58,2%) se generó con uno de los más altos montos en precipitación diaria (26,5 mm) antecedido por un monto menor (7,0 mm). Los picos de drenaje en el pastizal sin corte en general resultaron ligeramente inferiores a los demás tratamientos (figura 3.21). Se encontró que el nivel de correlación entre el drenaje y la precipitación total en este pastizal fue estadísticamente significativo (r_s : 0,69).

El mayor drenaje se presentó en el pastizal con corte a 10 cm de altura (Test de Friedman, $X^2 = 31,80$, $p < 0,001$). En este tratamiento, el mayor valor porcentual (67,9%) se alcanzó cuando se registro la precipitación de 10.0mm, antecedida por un monto similar (12.4 mm). Una respuesta de incremento en drenaje resultó con la ocurrencia de precipitaciones de gran magnitud. En este sentido, los valores porcentuales de 59,3% y 49,7% se registraron con la ocurrencia de las precipitaciones diarias de 26,5 mm y 28,8 mm, respectivamente. Se encontró que el nivel de correlación entre el drenaje y la precipitación total en este tratamiento fue estadísticamente

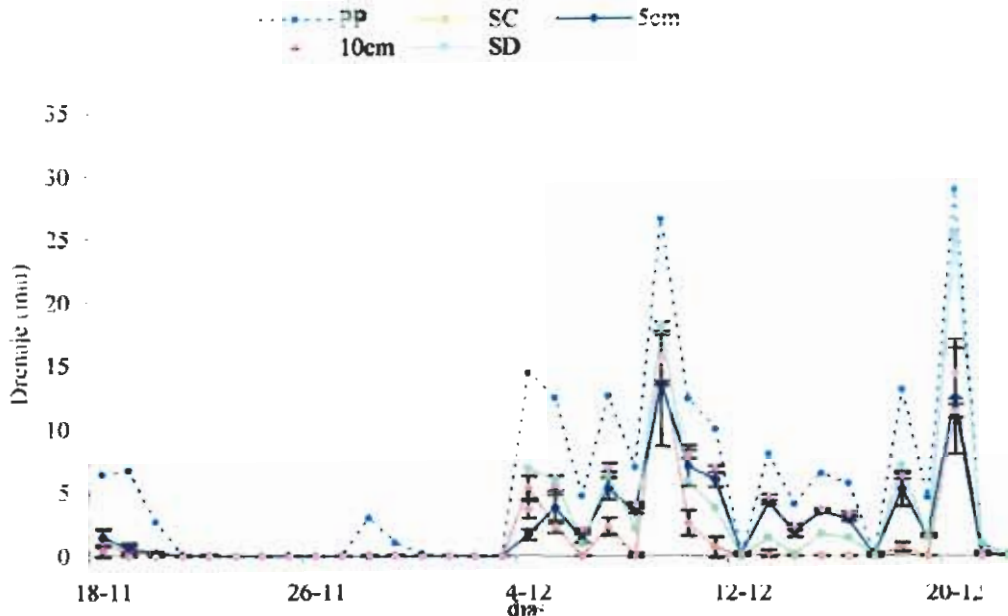


Figura 3.19. Dinámica de la precipitación total y el drenaje para el pastizal sin corte, con corte a 10 cm de altura, con corte a 5 cm de altura y suelo desnudo (SD)

significativo (r_s : 0,87). En el caso del pastizal Kikuyo con corte a 5cm de altura, el mayor valor porcentual (62.2%) ocurrió cuando se registro una precipitación diaria insignificante (0,2 mm) antecedida por un monto de poca cuantía. Por otra parte, el drenaje resultó significativamente mayor en este tratamiento con respecto al pastizal sin corte ($p = 0,029$). En el lapso de frecuente ingreso hídrico por precipitación y riego (4 – 21 diciembre) la caída en drenaje sucedió durante ingresos despreciables en precipitación diaria. En contraste, el drenaje incremento cuando ocurrieron los grandes montos de precipitación. De este modo, los valores de 43,4 y 51,1% ocurrieron cuando se registraron las mayores precipitaciones diarias (28,7 mm y 26,5 mm, respectivamente). Se encontró que el nivel de correlación entre el drenaje y la precipitación total en este pastizal fue estadísticamente significativo (r_s : 0,85). En referencia al suelo desnudo, la secuencia descrita por el drenaje resultó similar a la exhibida por la precipitación diaria (figura 3.19). Según se aprecia la descarga de agua sucedió rápidamente durante el

primer minuto en este experimento. El mayor valor porcentual (87,8%) ocurrió cuando se registró la precipitación de 28,8mm. Un drenaje ligeramente inferior (68,7%) al anterior correspondió al segundo pico en precipitación diaria (26,5 mm). Considerando las mediciones realizadas en el suelo desnudo, una relación altamente significativa (r_s : 0,80 $p < 0.001$) fue encontrada entre el drenaje y la precipitación total.

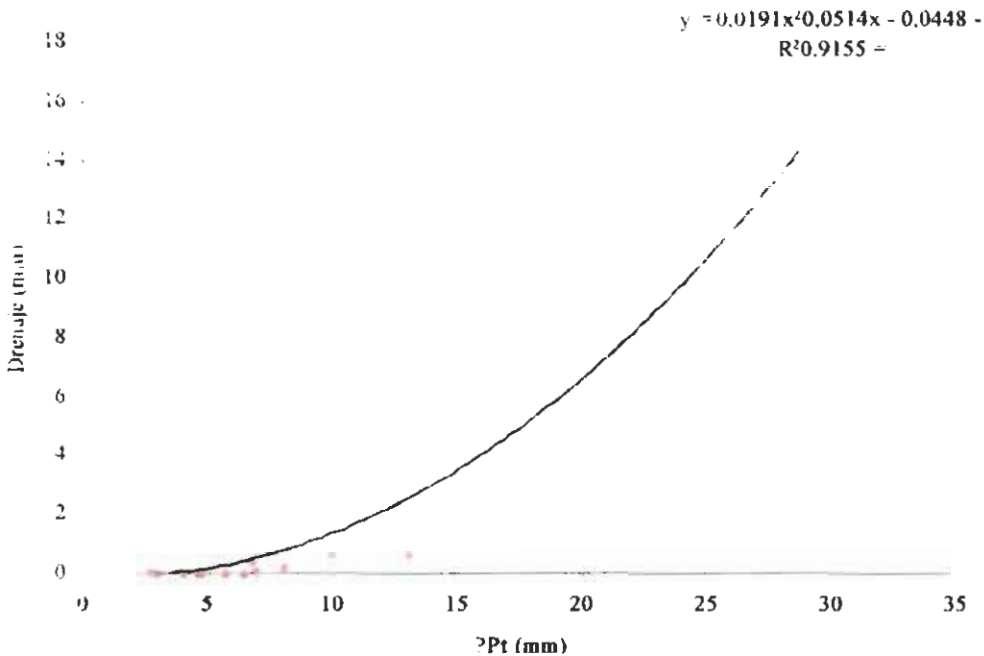


Figura 3.20. Relación entre el drenaje y la precipitación total (PPt) en el pastizal Kikuyo (*P. clandestinum*) sin corte.

La relación entre drenaje y precipitación total siguió un modelo binomial resultando altamente significativo para todos los tratamientos ($R^2 = 0,91$ para el pastizal sin corte, $R^2 = 0,91$ para el pastizal con corte a 10cm de altura, $R^2 = 0,89$ para el pastizal con corte a 5cm de altura y $R^2 = 0,98$ para el suelo desnudo) como se muestra en las Figuras 3.20, 3.21, 3.22 y 3.23. En cada tratamiento se evidencia la fuerte dependencia del drenaje con respecto a la precipitación diaria. Así, el drenaje responde según logra inferirse a las características de la precipitación, circunstancia que varía con la estructura y la cantidad de material vegetal. Los resultados mostrados por

el coeficiente de determinación indican que existe una relación más fuerte entre drenaje y PPT en el suelo desnudo con respecto a los pastizales sin corte y con corte. De este modo, las características del pastizal amortiguan el efecto de la lluvia e influyen en la transferencia de agua en el suelo según puede deducirse por los coeficientes (Figuras 3.20, 3.21, 3.22 y 3.23) y valores porcentuales totales (Tablas 3.1, 3.2 y 3.3) durante el periodo húmedo (Noviembre – Diciembre).

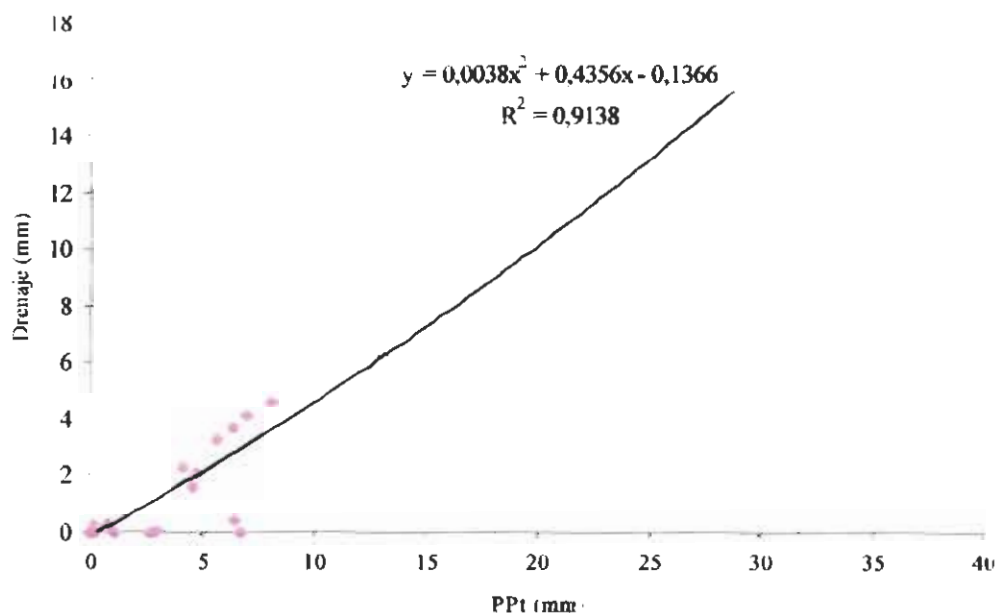


Figura 3.21. Relación entre el drenaje y la precipitación total (PPT) en el pastizal con corte a 10 cm de altura para el periodo húmedo de estudio.

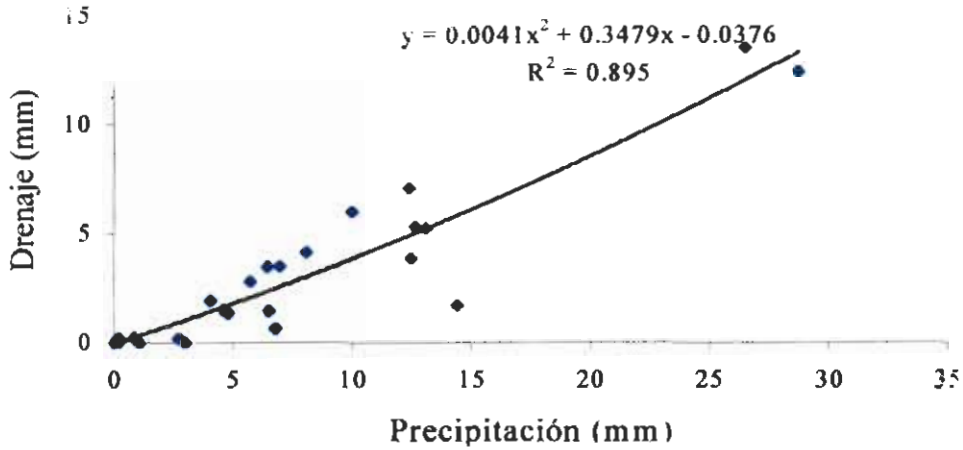


Figura 3.22. Relación entre el drenaje y la precipitación total (PPT) en el pastizal con corte a 5 cm de altura para el periodo húmedo de estudio.

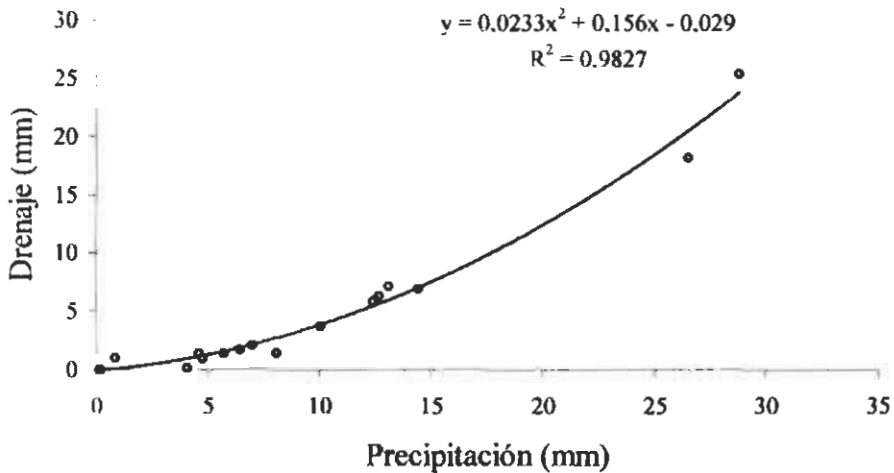


Figura 3.23. Relación entre drenaje y precipitación total en el suelo desnudo durante el 4 - 22 diciembre.

6.6 Comportamiento temporal de la biomasa y estructura aérea

La dinámica de la biomasa foliar, aérea y radical de los pastizales sin corte, con corte a 10 cm y 5 cm de altura para el periodo húmedo y seco es mostrada en la figura 3.24. Los datos corresponden a 14 días después de iniciado el periodo húmedo (1/12/2002) y 16 y 41 después de iniciado el periodo seco (7/01/2003 y 1/02/2003, respectivamente). En el periodo húmedo, la biomasa aérea total del pastizal sin corte excedió en 15% y 21% al pastizal con corte a 10 cm y con corte a 5 cm, respectivamente. El corte redujo en 38% la biomasa foliar comparado con el tratamiento sin corte. Considerando el total de biomasa aérea, la biomasa foliar correspondió a 25% en el pastizal sin corte y entre 18-19% en los pastizales con corte. Al comienzo del período seco, la biomasa aérea promedio cambió substancialmente con respecto al período húmedo y el pastizal con corte a 5 cm se redujo en un porcentaje mayor (15,2%) que los tratamientos sin corte y 10 cm de altura (9,8 y 3,8%, respectivamente). La disminución en biomasa foliar en los tratamientos con corte fue muy grande (más de 61%) comparada con el sin corte. La reducción de la disponibilidad de agua en el suelo afectó con mayor intensidad la biomasa aérea y foliar 41 después de iniciado el periodo seco. Durante esta medición, la biomasa aérea y foliar se redujeron en un 17% y 50%, respectivamente en los tratamientos con corte en comparación al tratamiento sin corte. Considerando el total de biomasa aérea, la biomasa foliar correspondió a 16% en el pastizal sin corte y 9% en los pastizales con corte. La transformación de la variable respuesta (biomasa aérea) con la función logarítmica reveló que no existieron diferencias significativas entre las biomásas en los meses de estudio ($p = 0,069$). La biomasa aérea del tratamiento con corte a 5 cm no difiere significativamente del tratamiento con corte a 10 cm ($p > 0,05$). Sin embargo, la biomasa aérea del tratamiento sin corte resultó mayor que la medida en tratamientos con corte ($p < 0,05$).

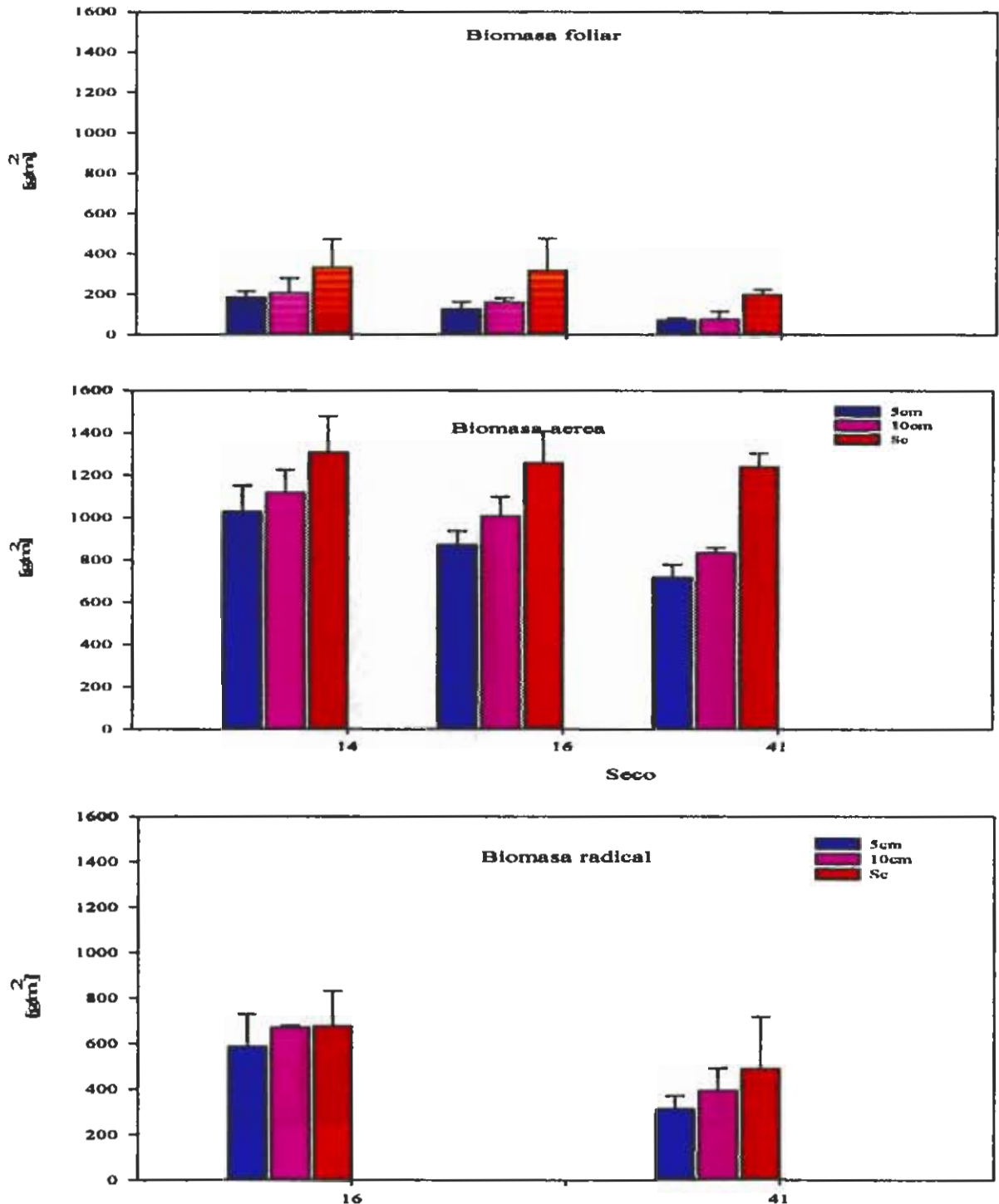


Figura 3.24 Biomasa foliar, aérea y radical en los tratamientos sin corte, con corte a 10cm y 5 cm de altura 14 días después de iniciado el periodo húmedo (1/12/2002) y 16 y 41 después de iniciado el periodo seco (7/01/2003 y 1/02/2003).

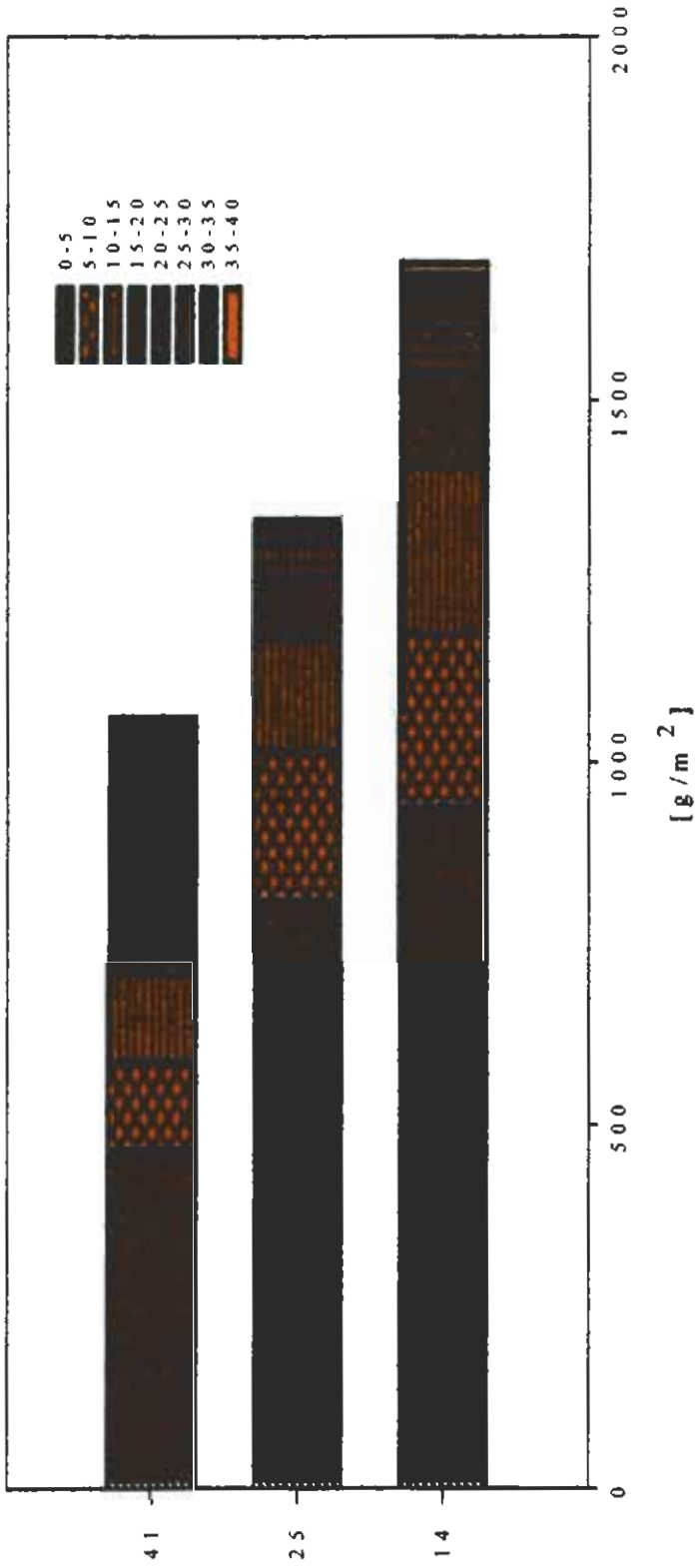


Figura 3.25a. Ampliación de la estructura aérea del pastizal sin corte 14 días después de iniciado el periodo húmedo (1/12/2002), 25 y 41 días después de iniciado el periodo seco (16/01/2003 y 1/02/2003). Cada fragmento de la barra horizontal en los tratamientos corresponde a la biomasa aérea comprendida por el estrato (intervalos de altura).

Por otra parte, la biomasa foliar presentó diferencias significativas entre los meses ($p = 0,004$) y entre la altura de los pastos ($p = 0,002$). En este sentido, la biomasa foliar resultó significativamente menor en febrero que en los restantes meses ($p < 0,05$) y no cambio entre enero y diciembre ($p > 0,05$). La biomasa foliar fue mayor en los tratamientos sin corte que en los tratamientos con corte a 10 cm y 5 cm ($p < 0,05$) y no resultó diferente entre los tratamientos con corte.

Durante todo el estudio la mayor acumulación de material vegetal (biomasa aérea + necromasa) en los tratamientos se concentro en el primer intervalo de altura (estrato) entre el nivel del suelo y los primeros 5 cm. La estructura de los pastizales sin corte, con corte a 10 cm y 5 cm de altura se muestra en la Figura 3.25. El pastizal sin corte presentó durante todas las medidas una altura de 40 cm. El análisis estadístico mostró que por debajo de 5 cm (estrato 0 – 5 cm) no se presentó diferencias significativas entre los tratamientos. Esta situación cambio con respecto al tiempo de estudio encontrándose diferencias significativas entre los meses ($p = 0,002$). Pruebas a posteriori indican que la biomasa 14 días después de iniciado el periodo húmedo fue mayor que la medida en las demás fechas del periodo seco ($p < 0,05$), las cuales no se diferencian significativamente entre sí ($p > 0,05$). La biomasa comprendida en el primer estrato (0- 5cm), 14 días después de iniciado el periodo húmedo correspondió a 55,7% y 78,0% en los pastizales sin corte y con corte a 10 cm en relación al total de biomasa aérea. Estos valores a los 25 días después de iniciado el periodo seco fueron más grandes, correspondiendo a 60,7% y 82,5% en los pastizales sin corte y con corte a 10 cm, respectivamente. La mayor reducción del material vegetal en el primer estrato con respecto al total de biomasa aérea fue medida 41 días después de iniciado el periodo seco en el tratamiento sin corte (44,0%) mientras que el tratamiento con corte a 10 cm no presentó algún cambio.

La biomasa radicular en el periodo húmedo (H) no presentó diferencias significativas entre tratamientos aun cuando el pastizal sin corte supero ligeramente a los pastizales con corte a 10 cm y 5 cm de altura. Esta tendencia se mantuvo 41 días después de iniciado el periodo seco superando este tratamiento en 19,7 y 36% a los pastizales con corte a 10 cm y 5 cm de altura, respectivamente. En general, durante este medición la biomasa radicular disminuyó significativamente con respecto a diciembre ($p=0,020$). El comportamiento de la biomasa radicular durante los periodos de estudio se aprecia en la figura 3.24. En el periodo seco, la biomasa aérea y radicular fue afectada por la variabilidad en la disponibilidad de agua en el suelo. Las mediciones del contenido relativo de humedad realizadas en el presente estudio son presentadas en las figuras 3.17 y 3.18.

DISCUSION

En general, los componentes del balance hídrico presentaron una dinámica temporal asociada al ingreso de la precipitación y a las características estructurales y ecofisiológicas de la vegetación. En el pastizal kikuyo estudiado, los resultados mostraron que diferentes grados de corte tienen un efecto importante en los flujos de agua. Las medidas de precipitación neta total resultaron mayores en los pastizales con corte a 10 cm y 5 cm de altura que en el pastizal sin corte por lo que exhibieron el comportamiento opuesto en la intercepción. En adición, la precipitación neta parcial presentó montos mayores en los pastizales con menor altura con respecto al pastizal sin corte. El máximo porcentaje de agua en Pnp provino de precipitaciones de poca magnitud antecedidas por un largo lapso sin lluvia. La canalización del agua vía caulinar aumentó la precipitación neta total en todos los tratamientos, lo cual pone en evidencia la influencia de la biomasa aérea.

El escurrimiento superficial fue muy bajo en todos los tratamientos incluso cuando las precipitaciones fueron altas. El pastizal de 5 cm de altura resultó

significativamente mayor del pastizal sin corte y con corte a 10 cm de altura. La relación entre la esorrentía superficial y la precipitación total fue significativamente positiva en el pastizal sin corte pero no en los demás tratamientos con corte. Este comportamiento posiblemente involucra aspectos como las características de la precipitación, baja pendiente, el hábito de crecimiento y la dinámica de la biomasa aérea. El agua almacenada en el horizonte 0-27cm no presentó diferencias significativas entre los tratamientos. La relación entre contenido relativo de humedad del suelo y precipitación diaria no fue significativo en ningún tratamiento. En el periodo sin precipitaciones, la pérdida gradual de humedad del suelo incidió en la reducción de biomasa aérea y subterránea y en la baja tasa transpiratoria. El contenido relativo de humedad no difirió significativamente entre tratamientos.

El drenaje aumentó conforme a la severidad del corte, siendo mucho mayor en el suelo desnudo. En todos los tratamientos, el drenaje incrementó al aumentar los montos de precipitación. El pastizal con 10cm de altura resultó significativamente mayor a los otros tratamientos, seguido del pastizal con corte a 5 cm de altura, el cual excedió considerablemente al pastizal sin corte.

Una descripción del comportamiento de los procesos hídricos de acuerdo a las condiciones de vegetación y suelo predominantes en los tratamientos es analizada con mayor detalle a continuación para interpretar la contrastante dinámica hídrica apreciada en los períodos húmedo y seco. La severidad del corte produjo una notable disminución en la intercepción producto de la reducción en la biomasa aérea e índice de área foliar de la vegetación. Resultados similares han sido reportados por Acevedo y Sarmiento (1990) y Van Dijk (2002), mientras que otros autores no encontraron relación (Brye et al. 2000). El corte dejó una menor superficie interceptante pero en todos los tratamientos la mayor concentración de biomasa fue en el estrato inferior

(0-5cm). Observaciones aisladas en el campo sugieren que estructuras como las vainas almacenaron agua, en especial aquellas poco adosadas al culmo ubicadas en el estrato inferior. Pocos estudios documentan el cambio experimentado en intercepción por pastizales defoliados. Por ejemplo, Merriam (1961) obtuvo valores de intercepción de 0,5 y 2,8 mm en *Lolium perenne* con una altura de 10 y 48 cm, respectivamente. Los valores porcentuales de intercepción reportados en un ambiente menos lluvioso para el pastizal *P. clandestinum* sin pastoreo (20%, Ataroff y Sánchez 2000) fueron similares a los obtenidos por el pastizal sin corte en este trabajo. En otras especies, la intercepción fluctuó notablemente entre 13 – 70%, presentando valores iguales o mayores a los conseguidos en el presente estudio (Clark 1940, Bulavko 1971, Seastedt 1985, Acevedo y Sarmiento 1990, Brye et al. 2000).

En los pastizales, el patrón de la precipitación neta parcial puede interpretarse de acuerdo a la dinámica seguida por la biomasa aérea y los cambios en la arquitectura. La cantidad de agua por caída libre y goteo del follaje resultó en el pastizal sin corte en casi la mitad del valor medido en los pastizales con corte. Al adicionar el monto de agua correspondiente al flujo caulinar, la Pnt fue mayor que la Pnp en 59,9% para el pastizal sin corte, 30,4% para el pastizal con corte a 10cm de altura y 31,4% para el pastizal con corte a 5cm de altura. Esto demostró la importancia de tomar en cuenta el movimiento del agua hacia el suelo por el tallo en este tipo de vegetación. En pastizales, Seastedt (1985) encontró volúmenes de flujo caulinar correspondientes al 50% de la precipitación neta parcial. La escasez de medidas en escurrimiento caulinar para pastizales proviene de la dificultad para instalar instrumentos en dicha estructura, sin embargo, en especies como el maíz se han registrado volúmenes apreciables con collarines (Van Dijk 2002, Acevedo y Sarmiento 1990) aunque relativamente menores a los obtenidos en el presente estudio. Relaciones altamente significativas entre precipitación neta parcial y precipitación total

(R^2 entre 0,92-0,96) también pueden obtenerse de otros estudios de pastizal Kikuyo ($R^2 = 0,99$ y $0,97$ reanalizados de Ataroff y Sánchez 2000 y Fonseca y Ataroff 2005). Las comparaciones entre diferentes estudios en precipitación neta total o parcial, aún para la misma especie presentan limitaciones por el instrumento de medida. Algunos estudios con sus resultados de Pnt y Pnp y el dispositivo de medida utilizado son listados en la Tabla 3.5. Aunque ciertos valores pueden haber sido afectados por mediciones o errores en la interpretación, esto ilustra el comportamiento contrastante entre metodologías empleadas y la presumible influencia de la estructura vegetal.

Las investigaciones sobre el efecto producido por la remoción de biomasa aérea por pastoreo o corte en el escurrimiento superficial, contenido de humedad y drenaje en pastizales, son escasas. El monto de agua registrado en escurrimiento superficial en todos los tratamientos resultó muy bajo sugiriendo que las tasas de infiltración fueron muy altas. No obstante, la reducción de biomasa aérea hasta 5cm de altura favoreció el incremento en escurrimiento superficial debido al gran valor en Pnt (90% Tabla 3.4). De acuerdo a los resultados de Pérez y López (2000) debió esperarse valores de escurrimiento entre 2,7 a 3,2% en el área de estudio cuando fueron realizados cortes a 10 cm de altura en el pastizal. Para otro pasto en zonas templadas, Enmerich y Heitschmidt (2002) encontraron en un tratamiento pastoreado el primer año y en el pastoreado dos años, un mayor escurrimiento que en un tratamiento no pastoreado (0,396mm y 0,470mm vs. 0,007mm). La modificación en la cobertura vegetal puede cambiar la tasa y velocidad de escurrimiento (Wischmeyer y Smith 1978, Dissmeyer y Foster 1981, Roose 1981, Brye et al., 2000). Sánchez (1996) consideró que la alta infiltración básica en un suelo con pastizal kikuyo pudo deberse a la gran densidad de raíces superficiales y porosidad del suelo. Vera (1992) documenta en este sistema una baja densidad aparente, abundancia en raíces finas y altas tasas de infiltración aunque no da valores. Algunos estudios en

pastizal kikuyo con mínima o ninguna intervención de pastoreo en la región andina presentan valores parecidos o mayores a los medidos (0,04 -11,6%; Malave y Marín 1985, Salm 1997, Ataroff y Sánchez 2000, Ataroff y Rada 2000, Pérez y López 2000, Fonseca y Ataroff 2005). En pastizales ubicados a baja altitud se ha reportado valores de escurrimiento entre 2% y 3,9% en terrenos con distinta pendiente (Acevedo y Sarmiento 1990, Silva 1994). La precipitación mantuvo una relación positiva significativa con el escurrimiento en el pastizal sin corte ($R^2 = 0,78$). Varios autores reportaron valores relativamente altos de correlación ($r=0,81-0,97$) entre escurrimiento y precipitación total en *P. clandestinum* (Salm 1997, Ataroff y Sánchez 2000, Fonseca y Ataroff 2005). En cultivos diferentes, como en el caso de la papa, Sarmiento (2000) obtuvo una correlación altamente significativa ($r = 0,92$). En algunos estudios, los máximos de precipitación vertical generaron los máximos de escurrimiento superficial (Ataroff y Rada 2000, Brye et al. 2000). Trabajos de Salm (1997), Hoffman y Ries (1991) y Mitchell et al. (1993) indicaron que el escurrimiento sucedió por la acción de distintos factores como cambios en la humedad preexistente del suelo y la distribución e intensidad de las lluvias.

El nivel de humedad del suelo cambió significativamente en función del tiempo pero no entre tratamientos. Durante el periodo húmedo, el suelo experimentó un variable contenido de humedad (22-33%) afectado por la frecuencia de las precipitaciones. Sólo después de 40 días consecutivos sin lluvia, la humedad residual alcanzó el punto de marchitez permanente (19,7%) reflejando la alta retención de este suelo. La textura principalmente francoarenosa, la baja densidad aparente y el alto contenido de materia

Tabla 3.5. Precipitación neta total y parcial para pastizales y otros cultivos con respecto a la precipitación total

Tipo de vegetación	Pnt (%)	Pnp (%)	Método de análisis	tiempo	Referencia
Pastos					
<i>P. clandestinum</i>		80	Pluviómetro tipo canal de 0,0089 m ² área de captación 0,00893 m ²	2 años	Ataroff y Sánchez (2000)
<i>Digitaria decumbens</i>	88		Pluviómetro con área de captación de 89.3 cm ²	138 días	Acevedo (1988)
<i>Eragrostis cilianensis</i>	38 - 84		Pnt: biomasa sobre rejilla con lluvia simulada	30 - 60 minutos	Clark (1940)
<i>Buchloe dactyloides</i>	26 - 83		Pnp: interceptómetros tipo canal de 0,04 m ² .		
<i>Andropogon furcatus</i> Muhl. <i>Stipa spartea</i> , <i>Agropyron smithii</i> Rydb., <i>Elymus Canadensis</i> , <i>Spartina pectinata</i>		16 - 54			
Mezcla de pastos					
<i>Andropogon furcatus</i> Muhl. <i>Stipa spartea</i> , <i>Bouteloua curtipendula</i> , <i>Sporobolus heterolepis</i>		43 - 57			
<i>P. clandestinum</i> , <i>Melinis minutiflora</i> , <i>Holcus lanatus</i> y <i>Poa annua</i>		42	Pluviómetro tipo canal de 0,026 m ² de área de captación.	1 año	Fonseca y Ataroff (2005)
<i>Andropogon gerardii</i> , <i>Sorghastrum nutans</i> , <i>Panicum virgatum</i>	30		Bandejas plásticas (22,5 cm largo x 14,9 cm ancho y 5,1 cm profundidad) entre otros	924 días	Brye et al. (2000)
*Pradera Quemada		76	Pluviómetros tipo canal	20 meses	Steasted (1985)
*Pradera no quemada <i>Andropogon gerardii</i> , <i>A. scoparius</i> , <i>Sorghastrum nutans</i> , <i>Panicum virgatum</i>		58	con área de captación de 0,05 - 0,06 m ²		

<i>P. clandestinum</i>	71.4	28.6	Pnt: Biomasa sobre rejilla con lluvia simulada	Este estudio
	84,9	49,7	Pnp: Pluviómetro tipo canal con 0,045 m ² .	Este estudio
	89.5	49		Este estudio
Otros cultivos			Pluviómetros con área de captación de 0,01 m ²	124 días
<i>Manihot esculenta</i> , <i>Zea mays</i> y <i>Oriza sativa</i>	82			Van Dijk (2002)
<i>Zea mays</i> y <i>Manihot esculenta</i>	92			193 días

orgánica del horizonte superficial probablemente incidieron favorablemente en la retención del agua. Al respecto, Kern (1995) en un estudio en distintos pedones señala que el incremento en materia orgánica aumentó la capacidad de retención del agua disponible. Ataroff (2005) reportó para un pastizal de Kikuyo una humedad edáfica de 13% en el horizonte superior (0 – 30cm) durante semanas de bajas precipitaciones y 16% cuando las precipitaciones fueron altas. En un pastizal de sabana los valores fueron menores entre 9 – 19% (Sarmiento y Acevedo 1991). Aunado a este comportamiento, la biomasa aérea (principalmente la biomasa foliar) y subterránea experimentaron disminución. Estos cambios junto a mecanismos fisiológicos como la reducción del área de la lámina foliar y el incremento en la tasa de senescencia constituyeron una defensa contra la sequía y permitieron economizar agua (ver capítulo 2). En este período, el consumo de agua en los pastizales estuvo restringido según lo demostró la baja tasa transpiratoria.

Los dos pastizales con corte superaron substancialmente en drenaje al pastizal sin corte. En estos tratamientos, los grandes montos acontecieron con la ocurrencia de grandes precipitaciones. El incremento en drenaje en

los tratamientos estuvo influenciado por la cantidad de biomasa aérea y precipitación pero también probablemente por aspectos como la pedregosidad y ciertas propiedades físicas del suelo. Brye et al (2000) asociaron el poco drenaje en una pradera a la considerable intercepción por la vegetación (biomasa + necromasa). El valor del pastizal sin corte en este estudio (22 – 47%) resultó en el rango de lo reportado para el pasto *Digitaria decumbens* (32,5%; Sarmiento y Acevedo 1991). En cultivos de papa en páramo, se han reportado valores de 37% (PPt =1129mm) y una relación altamente significativa entre drenaje y precipitación ($R^2=0,97$) (Sarmiento 2000). En este estudio, en el suelo desnudo el patrón del drenaje siguió el de la precipitación. Los resultados sugieren que montos mayores de precipitación sobre el suelo desnudo favorecerán un gran drenaje, según puede deducirse de la relación altamente significativa entre estas dos variables. Sarmiento y Acevedo (1991) destacan que el llenado del suelo al iniciarse la temporada de lluvias fue más rápido bajo suelo desnudo que bajo pastura, debido a que el pasto pierde agua por evapotranspiración y el suelo desnudo solo por evaporación. El reducido drenaje posterior a la terminación del periodo húmedo resultó de la alta capacidad de retención del suelo y de la reducción en la transpiración (ver capítulo 2)

CAPITULO 3

DINAMICA GLOBAL DE LOS FLUJOS DE AGUA

DISCUSION GENERAL

Los resultados de los pastizales de Kikuyo establecidos en una selva nublada montano baja son representados en un esquema general del balance hídrico y discutidos considerando el comportamiento asumido por cada tratamiento durante los períodos de medición (Figura 3.26 y 3.27). Las diferencias en la magnitud del flujo de agua entre los tratamientos provinieron del cambio experimentado por la cantidad de biomasa aérea. En el periodo húmedo, el balance en todos los tratamientos mostró mayores pérdidas gaseosas que liquidas. Los resultados de este estudio indican que la principal pérdida liquida fue por drenaje, siendo mayor en los tratamientos con corte. Los estimados de EVT (Evaporación del suelo + evaporación del follaje + transpiración) en estos sistemas fueron altos debido a los considerables valores de ET (evaporación del suelo + transpiración) encontrados, específicamente en sin corte. La evaporación del follaje (I) incrementó conforme aumentó la cantidad de biomasa aérea. El pastizal sin corte interceptó mayor cantidad de agua (28,6%) debido a la considerable biomasa aérea e índice de área foliar (IAF: 5,9). La gran superficie interceptora de este pastizal afectó la magnitud de la precipitación neta resultando en un valor menor que en los otros tratamientos. Una pequeña fracción del agua que alcanzó el suelo escurrió superficialmente. Esta medida adicionada a la obtenida por drenaje dio 22,6% en pérdida liquida para el tratamiento sin corte, siendo mucho menor que en los tratamientos con corte (40-47%). Dicho valor fue superado por la pérdida gaseosa de ET estimada en 44% para el pastizal sin corte. La magnitud de este valor estuvo asociada principalmente a una mayor superficie foliar por área de suelo, situación que condujo a un incremento en la transpiración del sistema (ver capítulo 2) y disminuyó la disponibilidad de agua en el horizonte

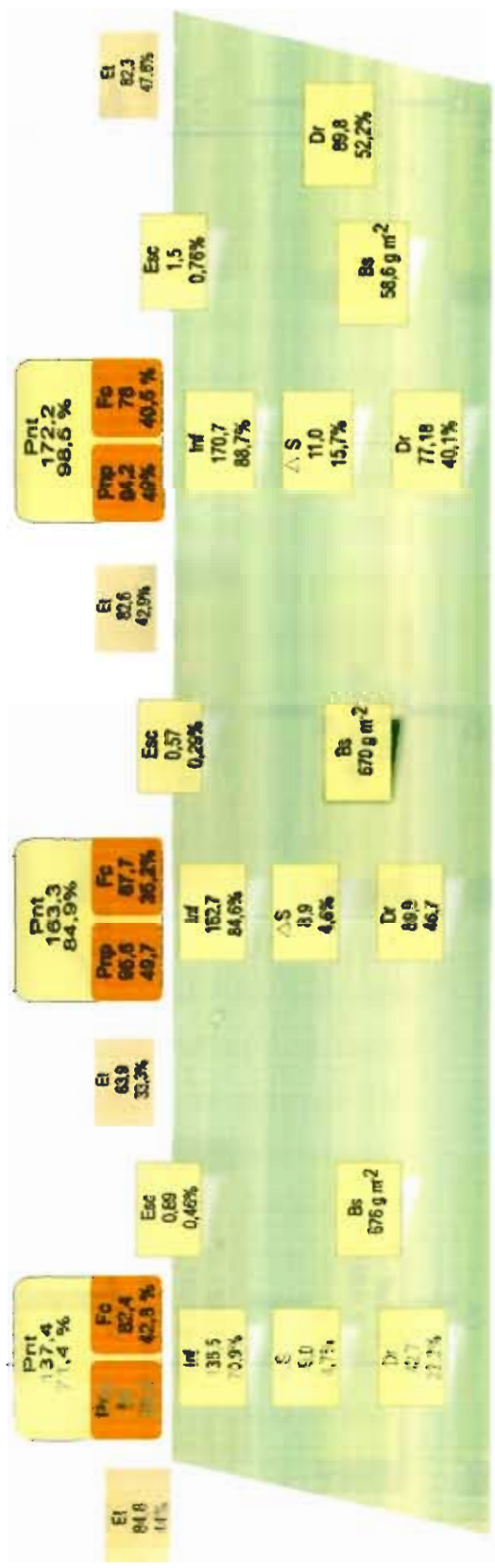
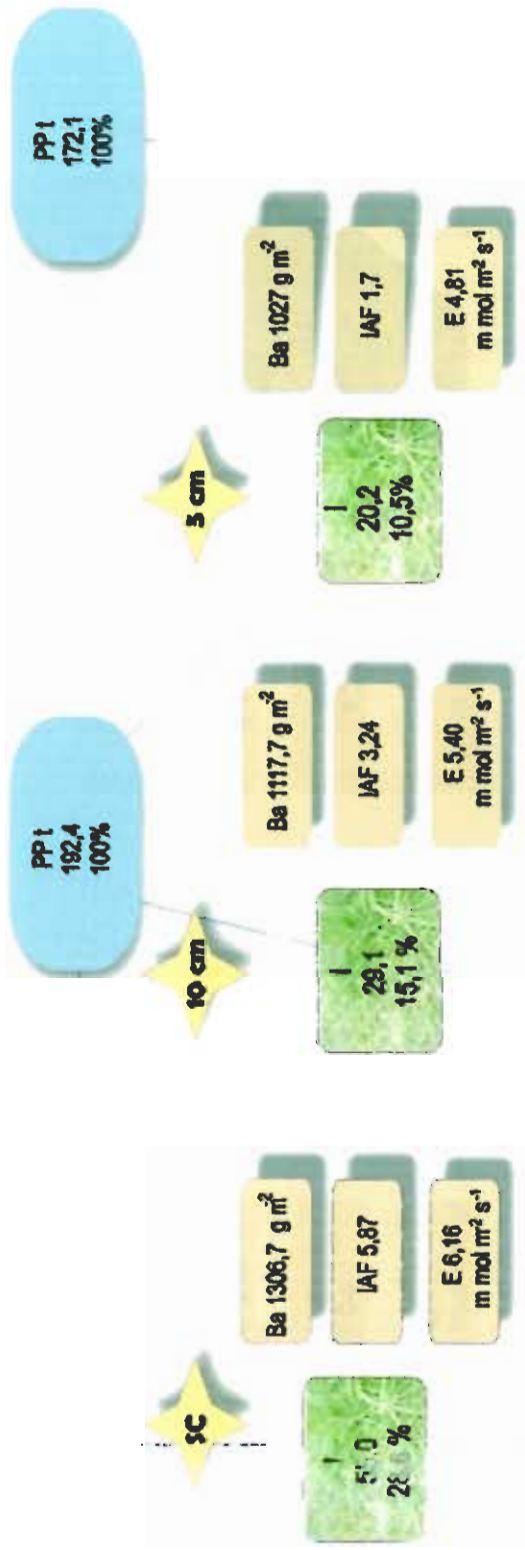


Figura 3.26 Esquema general del balance hídrico en los pastizales sin corte con corte a 10 cm y 5 cm durante el periodo húmedo. Los Valores son en mm a excepción de aquellos que indican lo contrario. PPt (Precipitación total), I (Intercepción), Pnt (Precipitación neta total), Pnp (Precipitación neta parcial), Ic (Flujo caulinar), Inf (Infiltración), s (almacenamiento de agua en el suelo), Esc (Escorrentía superficial), Dr (Drenaje), Ba (Biomasa aérea), IAF (Índice de área foliar), E (Transpiración) y Bs (Biomasa subterránea)

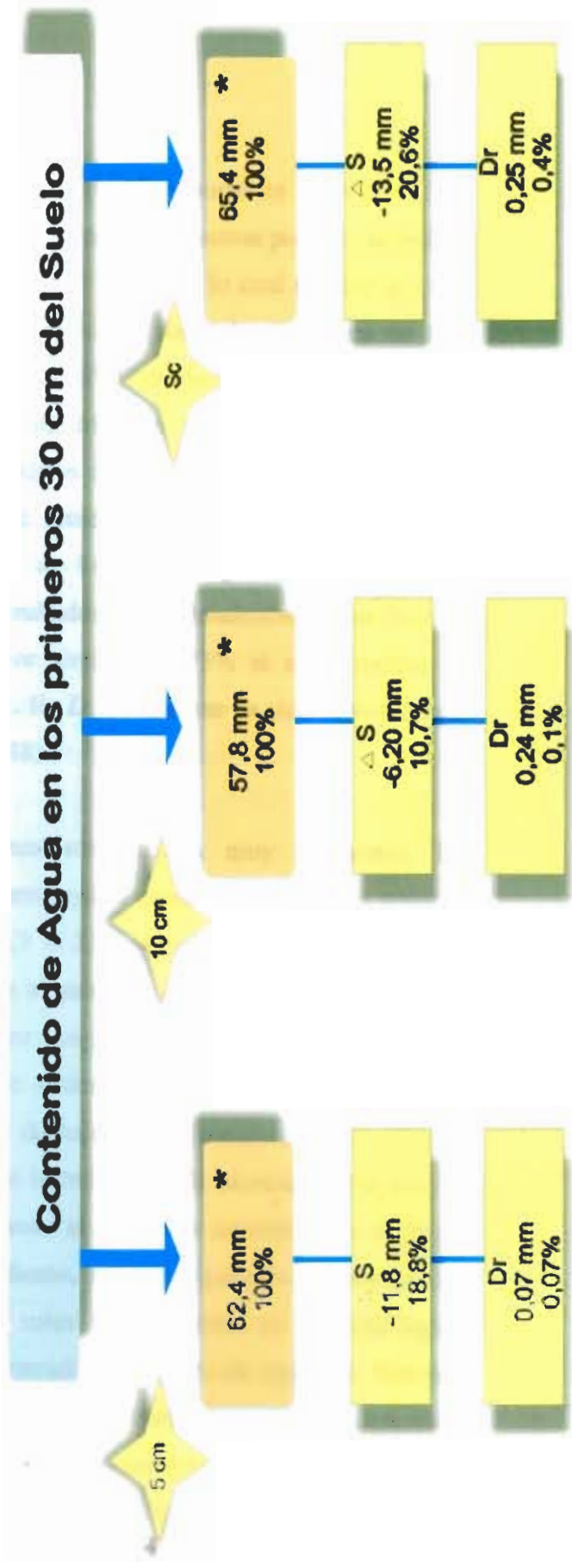
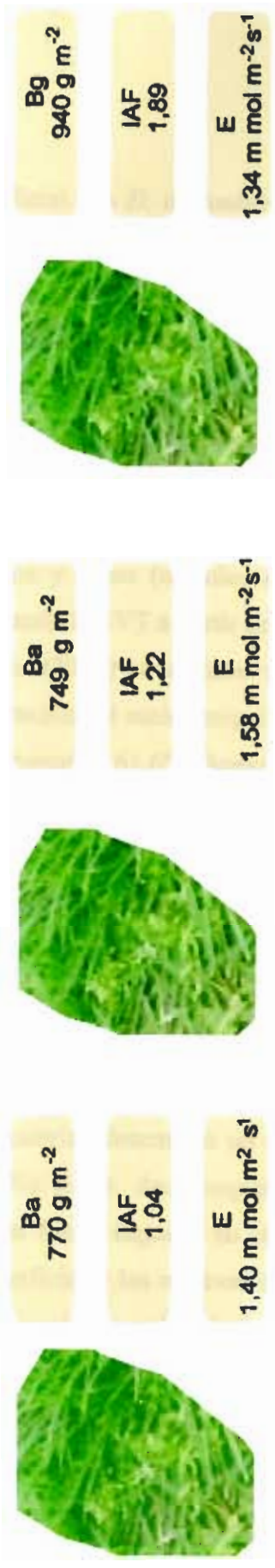


Figura 3.27 Esquema general del balance hídrico en los pastizales sin corte a 10 cm y 5 cm durante el periodo seco y el contenido de agua en el suelo al comenzar el periodo de exclusión de precipitación

superficial. En *D. decumbens*, Acevedo (1988) reportó un valor de ET de 49,4%. Adicionando la intercepción a la pérdida gaseosa por ET, se estimó un valor de EVT de 73% para el pastizal sin corte, lo cual sugiere que una proporción importante de agua fue reciclada hacia la atmósfera en este sistema. En otros pastizales, tasas de EVT diarias promedio calculadas mediante el despeje de componente hídricos del balance y modelos matemáticos (2,4 -2,5mm día⁻¹) podrían corresponder a un valor de 44%, inferior al registrado en el presente estudio si se consideran los mismos ingresos y lapso (cálculos a partir de Mora 1988 y Brye et al. 2000). Estimando la EVT a partir de los resultados de *P. clandestinum*, por Ataroff y Rada (2000) se obtiene un valor similar de 73% si se considera la evaporación del suelo insignificante. En *D. decumbens* ha sido reportado un valor menor de 61,6% (Acevedo 1988).

Los tratamientos con corte presentaron valores muy diferentes. El incremento en el grado de corte disminuyó la cantidad de biomasa aérea e índice de área foliar (IAF entre 1,7 – 3,2) reduciendo de este modo la superficie interceptora con respecto al pastizal sin corte. Esto tuvo como consecuencia una menor pérdida por evaporación del follaje y un mayor ingreso de agua en el suelo. Este último aunado a menores pérdidas transpiratorias determinó un mayor drenaje en los tratamientos con corte (40-47%). Estos datos sugieren que la reducción de biomasa aérea puede tener un fuerte impacto en el ambiente al favorecer aumentos en el flujo subsuperficial y las reservas subterráneas, situación que interpretada a una mayor escala espacial tiene importantes implicaciones en la hidrología regional. En condiciones de suelo desnudo, la pérdida de agua por drenaje superó notablemente a la medida en los otros tratamientos. La comparación de este valor con el obtenido en el pastizal sin corte mostró que la gramínea cambió la dirección de los distintos flujos hídricos disminuyendo el porcentaje de agua que atravesó el horizonte de 0 - 30cm. La pérdida gaseosa por ET promediada en los dos tratamientos fue 38% (33% - 43%).

Estos valores de ET incrementaron al adicionar la interceptación obteniéndose estimados de EVT entre 48 - 53%, los cuales fueron menores al encontrado en el pastizal sin corte.

Dado que el pasto kikuyo es considerado como muy dependiente de altos ingresos de agua, en este trabajo se intentó evaluar su comportamiento ecohidrológico bajo estrés hídrico. En este sentido, el experimento de eliminación del ingreso de agua por protección de los pastizales de las lluvias con techo plástico, generó los resultados de balance hídrico que se resumen en la figura 3.26. Los valores de humedad residual al inicio del período seco se consideraron como equivalentes al 100% del agua presente en los sistemas. Estos diferentes valores entre los tratamientos correspondieron a la última medida de contenido relativo de agua registrada en el período húmedo. La condición de punto de marchitez permanente se alcanzó en todos los tratamientos a los 44 días después de iniciado el período seco. En este caso, el agua remanente existente en el suelo estuvo entre 42 – 48mm, siendo mayor en el pastizal sin corte. En el pastizal con corte a 5 cm el punto de marchitez se presentó siete días antes. El análisis de secuencias de días consecutivos sin lluvia mostró que la probabilidad de ocurrencia de 44 días seguidos sin lluvia fue muy baja (Frecuencia < 0,05). La reducción del contenido de agua en el suelo disminuyó la biomasa aérea ($717 - 1240 \text{ g m}^{-2}$) y radical ($312 - 486 \text{ g m}^{-2}$), siendo mayores en el pastizal sin corte. En este tratamiento, la pérdida líquida por drenaje fue muy baja (0,07%) con respecto a los tratamientos con corte (0,1 – 0,4%). Esta poca cantidad de agua pérdida por esta vía puede ser parte importante del flujo subsuperficial. La reducción del contenido de humedad en el suelo en todos los tratamientos incrementó la senescencia foliar y disminuyó la tasa transpiratoria en cuatro veces (ver capítulo 2). La magnitud de este valor probablemente este asociada a la superficie foliar por área de suelo presente en cada sistema.

CONCLUSIONES

En general, la dinámica del agua estuvo modelada por la cantidad de biomasa, situación que se acentuó de acuerdo al manejo aéreo impuesto sobre el material vegetal. Los procesos hídricos contrastaron en magnitud a lo largo del tiempo de medición, situación que estuvo influenciada de modo importante por los montos de precipitación. Los resultados correspondientes a la respuesta del pastizal *P. clandestinum* en el periodo húmedo mostraron comportamientos directamente asociados con el efecto de corte. Los tratamientos con corte presentaron menores valores de intercepción con respecto al pastizal sin corte. La menor intercepción de los pastizales con corte estuvo asociada a la reducción de biomasa aérea e índice de área foliar. La mayor superficie interceptora en el pastizal sin corte (IAF = 5,9) con respecto a aquellos con corte (IAF entre 1,7-3,2) actuó como una importante barrera afectando la magnitud de la precipitación neta parcial. La cantidad de agua obtenida por goteo del follaje y directo fue significativamente menor (29%) en el pastizal sin corte comparada con los pastizales con corte (aprox. 50%). El patrón de la Pnp en los pastizales estuvo relacionado positivamente con los montos de precipitación según modelos binomiales. Una parte significativa de la precipitación que alcanzó el suelo fue conducida por los tallos, dando como resultado un aumento en la precipitación neta total, la cual incrementó con la severidad del corte. Las comparaciones entre diferentes estudios en precipitación neta total o parcial resultaron difíciles debido a un número de factores entre los cuales están: la variabilidad del instrumento de medición, formas de crecimiento, los cambios en la densidad de la vegetación y escasos datos. En síntesis, la cantidad de biomasa aérea jugó un rol importante al determinar la cantidad de agua que entra al suelo. Al respecto, más investigaciones resultan necesarias para entender mejor el comportamiento temporal de la

precipitación neta total cuando varía la disposición (habito de crecimiento) y cantidad de biomasa aérea en el pastizal.

Los montos totales en escurrimiento superficial fueron muy bajos en todos los tratamientos, infiltrando casi totalmente el agua en el suelo. Un significativo escurrimiento fue medido en el pastizal con corte a 5 cm de altura debido a la menor cantidad de biomasa aérea en el terreno. El poco escurrimiento puede ser parcialmente explicado por la disposición de estolones y demás estructuras de la planta que dificultan el movimiento del agua en la superficie. Comparando los resultados con los reportados por otros estudios se evidencia que estos pastizales actuaron como importantes barreras evitando el escurrimiento. Sin embargo, esta situación posiblemente pueda cambiar en condiciones de pastoreo en donde el suelo es disturbado y la biomasa aérea reducida por el consumo. El contenido relativo de agua en el suelo no fue significativamente diferente entre los tratamientos en los períodos lluvioso y seco. Los grandes valores en contenido de humedad destacan la influencia de la humedad residual heredada de sucesos anteriores. En el periodo lluvioso, todas las medidas de contenido relativo de humedad permanecieron por encima del punto de marchitez permanente. Las pérdidas gaseosas por ET fueron altas en todos los tratamientos siendo mayor en el pastizal sin corte debido posiblemente a la cantidad considerable de superficie foliar por área de suelo. Estos resultados, aunados a la evaporación del follaje mostraron que las mayores pérdidas fueron a nivel gaseoso por EVT. Por otra parte, la eliminación de la lluvia en el periodo seco previno la recarga de la humedad del suelo alcanzando en 44 días el punto de marchitez permanente. En este periodo, las pérdidas transpiratorias disminuyeron substancialmente tanto por la disminución de la humedad del suelo como por la reducción del índice de área foliar al incrementarse la senescencia y mortalidad de las hojas. La tasa transpiratoria fue 4 veces menor que en el periodo lluvioso estudiado. Suponemos que la disminución de biomasa aérea y radical redujo el

consumo de agua, lo cual favoreció la permanencia del pastizal. Una evaluación de los procesos de transferencia de energía (métodos micrometeorológicos) y los procesos hídricos de salida asociados al suelo (medidas continuas) podría esclarecer mejor el balance del contenido de humedad en los tratamientos.

La cantidad de agua drenada del horizonte de 0-30cm fue significativamente mayor en los tratamientos con corte. En el suelo sin vegetación, el drenaje fue superior al medido en todos los tratamientos. La respuesta de los sistemas estuvo relacionada con la cantidad de agua que infiltró en el suelo por precipitación neta total y la ET. El patrón del drenaje en los pastizales estuvo relacionado positivamente con los montos de precipitación según se infiere por los modelos binomiales. Este aumento en el drenaje por efecto del corte pone en evidencia el incremento de flujos subsuperficiales y reservas subterráneas, además de ciertas consecuencias a mediano plazo por el lavado de nutrientes y la pedogenesis (Acevedo 1988). En el periodo seco, la descarga de agua por drenaje fue muy baja correspondiendo al pastizal con corte a 5cm el mayor valor porcentual. Considerando globalmente todo el estudio, se puede afirmar que gran parte del comportamiento de los procesos hídricos puede ser interpretado de acuerdo a los cambios en biomasa aérea. En esta investigación, el conocimiento del comportamiento de los procesos hídricos en pastizales sometidos a diferentes intensidades de corte permitió identificar el potencial impacto que pueden tener ciertas prácticas de manejo en la dinámica hidrológica de estos sistemas, ya que en la mayoría de los trabajos en pastizal, la información procede de estudios donde se excluye el ganado y su efecto en la dirección y magnitud del flujo de agua al modificar la biomasa y estructura aérea.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acevedo, D.. 1988. Economía hídrica de dos agroecosistemas tropicales: una pastura permanente y un cultivo de maíz. Tesis Lic. Bio., Fac. Ciencias, Mérida, Venezuela. 158p.
- Acevedo, D. y Sarmiento, G., 1990. Intercepción de la lluvia, escurrimiento superficial y drenaje profundo en una pastura tropical y en un cultivo de maíz en Barinas, Venezuela. *Revista de la Sociedad Venezolana de Ecología ECOTROPICOS*. Vol. 3- 1:2-32.
- Ataroff, M., y Monasterio, M., 1996. Impacto ecológico de los agroecosistemas cafetaleros en el Estado Mérida. pp 197-224, in R. Giacalone (Ed.): Mérida a Través del Tiempo. Siglos XIX y XX Política, Economía y Sociedad, capítulo 8. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Ataroff, M y Rada, F., 2000. Deforestation impact on water dynamics in a Venezuelan Andean Cloud forest. *Ambio* 29(7): 238 – 242.
- Ataroff, M., y Sánchez, L.A.. 2000. Precipitación, intercepción y escurrimiento en cuatro ambientes de la cuenca media del río El Valle, Estado Táchira, Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana* 41(1): 11-30
- Ataroff, M. 2005. Estudios de dinámica hídrica en la selva nublada de la Mucus, Andes de Venezuela. Ataroff, M. y J. F. Silva (eds). *Dinámica hídrica en sistemas Neotropicales*. ICAE, Univ. Los Andes, Mérida, Venezuela. p. 5 – 10.
- Azcón-Bieto, J., Talón, M. 1993. Fisiología y bioquímica vegetal. De. Interamericana McGraw-Hill, Madrid.
- Bidlake, W. y Boetcher, P., 1997. Simulation of the soil water balance of fan undeveloped prairie in west-central Florida. U.S. Geological survey Water supply paper 2472. 57pp.
- Bruijnzeel, L.A., 1990. Hydrology of moist tropical forest and effects of conversion. A state of knowledge review. UNESCO International Hydrological Programme, Paris, 224p.
- Brye, R.K., Norman, M.J. Bundy, L.G. y Gower, T.S., 2000. Water budget evaluation of prairie and maize ecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:715-724
- Bulavko, A.G., 1971. Vodny balans rechnykh vodosborov (Water balance of river basins). *Gidrometeoizdat, Leningrad*, 304 pp.
- Calder, I.R., 1976. The measurement of water from a forested area using a natural lysimeter. *J. Hydrol.*, 30,311 – 325
- Clark, O.R., 1940. Interception of rainfall by prairie grasses, weeds, and certain crop plants. *Ecological monographs* 10: 243 – 277.

- Cavelier, J. y Goldstein, G., 1989. Mist and fog interception in elfin cloud forest in Colombia and Venezuela. *Journal of Tropical Ecology* 5: 309-322.
- Dastane N.G. 1974. Precipitación neta en la agricultura de regadío. FAO. 68p.
- Dávila, S.V y Chaverra, G. 1987. Kikuyo. En: establecimiento y manejo de pastos y forrajes. TOA No134. Bogotá, Colombia. pp 146 – 153
- Dissmeyer, G. and Foster, G. 1981. Estimating the cover management factor © in the universal soil loss equation for forest condition. *J. Soil and Water Cons.* 35: 235-240
- Enmerich, W.E. y Heitschmidt, R.K. 2002. Drought and grazing II. Efects on water yield and quality. *Journal of Range Management* 55 (3): 229 – 234.
- Fonseca, H. y Ataroff, M. 2005. Dinámica hídrica en la selva nublada de la cuenca alta del río Cuisiana y un pastizal de reemplazo, cordillera Oriental, Colombia. Ataroff, M. y J. F. Silva (eds). *Dinámica hídrica en sistemas Neotropicales*. ICAE, Univ. Los Andes, Mérida, Venezuela. p. 31- 36.
- Hillel, D. 1972. Soil moisture control for maximum grass response In: *The biology and utilization of grasses*. New York. Youngner, V.B. y Mckell, C.M.(Eds). pp 260-269
- Hillel, D., and Rawitz, E. 1968. A field study of soil surface treatments for runoff inducement. *Trans. Int. Cong. Soil Sci.* 9th. Vol. I. pp. 303 – 312.
- Hofmann, L. and R. Ries. 1991. Relationships of soil and plant characteristics to erosion and runoff on pasture and range. *J. Soil and Water Cons.* March-April. 143-147.
- Horton, R.E., 1940. An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 5: 399 – 417.
- Hudson NW. 1982. Soil conservation, research and training requirements in developing tropical countries. In: *Soil erosion and conservation in the tropics*. Special Publication 43. Madison (WI): American Society of Agronomy. p 121–143.
- Jordan, C., Kline, J. y Drewry, G., 1968. Tritium movement in a soil of a tropical rain forest (Puerto Rico). *Science* 160: 550 – 557.
- Kramer. P.J.. 1989. Relaciones hídricas de suelos v plantas. Una síntesis moderna. Ed. Harla. México.
- Kern J. S. (1995). Evaluation of soil water retention models based on basic soil physical properties. *Soil Science Society American Journal* 59:1134-1141.
- Malave, J. y Marín, W. 1985. Intercepción, Escurrimiento superficial y erosión en un área bajo presión con ganadería de altura en el Joque, Tesis Ing. For., Fac. Ciencias Forestales, Mérida, Venezuela. 53 p.

- Medina, I., 1983. Establecimiento, rendimiento y valor nutritivo del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Boletín informativo Asoprogal. Mes de Julio N°4.
- Merriam, R.A. 1961 Surface water storage on annual ryegrass. J. Geophys. Res., 66, 1833-1838.
- Mitchell, J.K, Engel, B.A., Srinivasan, R., y Wang, S., 1993. Validation of AGNPS for small watersheds using an integrated AGNPS/GIS system. Water Resources Bulletin. 29(5):833-842.
- Mountains of the World - Water Towers for the 21st Century Mountain Agenda. Liniger, H., Weingartner, R., Grosjean, M. (eds.)
1998. 32 pp
- Ndawula-Senyemba, M.S., Brink, V.C. y Mc Clean, A., 1971. Moisture interception as a factor in the competitive ability of bluebunch wheatgrass. J. Range Mgmt., 24, 198 - 200
- Pérez, U. y López, R., 2000. Estudio preliminar de la erosión hídrica en un inceptisol de los andes venezolanos bajo uso agrícola. Rev. Forest. Venez. 44(2): 11 - 19
- Raiza, P. y Torres, S., 1996. Características estructurales de tres perfiles de suelo de la selva nublada de rancho grande en el parque nacional "Henri Pittier". Revista VENESUELOS 4 (1 y 2):40-48
- Reichardt, K., Bacchi, O., Oliveira, J., Timm, L. y Pilotto, J.E. 2001. Water balance. Colloge on soil physics. 12 march – 6 april 2001. 7p.
- Roose, E. 1981. Dynamique actuelle de soils ferralitiques et ferrugineux tropicaux d' Afrique Occidentale. Travaux et documents del ORSTOM, N° 130. Paris: IRD, Institut de Recherche scientifique pour le developpement en cooperation.
- Rundel, W.P y Jarrell, M.W., 1989. Water in the environment. In: Plant physiological Ecology. Field methods and instrumentation Eds R.W. Pearcy, J.R. Ehleringer, H.A. Mooney y P.W. Rundel. Chapman and Hall. pp 29 -56
- Salm, H. 1997. Erosión de suelos bajo diferentes tipos de uso de la tierra en el valle del río Camacho, Departamento de Tarija- Bolivia. In: Desarrollo sostenible de ecosistemas de montañas: manejo de áreas frágiles en Los Andes. Liberman, M. y Baied C. (eds) UNU – PL-480, La Paz, Bolivia. pp 159 – 167
- Salisbury, F.B. y Jensen, W.A. 1988. Botánica. Mc Graw Hill, México. 762p.
- Sánchez, L.A. 1996. Erosión bajo diferentes tipos de uso de la tierra en un sector de la cuenca del río El Valle, el Cobre, estado Táchira, Venezuela. Tesis de maestría. 180p.

- San José, J.J., Nikonova, N. & Bracho, R., 1998. Comparison of factors affecting water transfer in a cultivated paleotropical grass (*Brachiaria decumbens* Stapf) field and a Neotropical savanna during the dry season of the Orinoco lowlands. *American Meteorological Society*. Vol 37: 509 - 522
- Sarmiento, G. y Acevedo, D., 1991. Dinámica del agua en el suelo, evaporación y transpiración en una pastura y un cultivo de maíz sobre un alfisol en los llanos occidentales de Venezuela. *Ecotropicos*, Vol. 4 (1): 27 – 42.
- Sarmiento, L., 1995. Restauration de la fertilité dans un système agricole a Jachere Longue des Hautes Andes du Venezuela. PhD thesis. Paris: Universite de Paris XI.
- Sarmiento, L., 2000. Water balance and soil loss under long fallow agriculture in the Venezuelan Andes. *Mountain Research and Development*. Vol 20. N°3. Aug 2000: 246 – 253.
- Seastedt, T.R. 1985. Canopy interception of nitrogen in bulk precipitation by annually burned and unburned tallgrass prairie. *Vol.66 (1): 88 – 92*
- Silva, O. 1994. Evaluación del escurrimiento y la erosión en condiciones de sabana y bosque claro de altas pendientes. Caso Macapo, Estado Cojedes. *Venesuelos 2(2):81-85*.
- Slatyer, R.O. 1957. Significance of the permanent wilting percentage in studies of plant and soil relations. *Bot. Rev.*, 23, 585-636.
- SPSS Inc. 1996. SPSS. Versión 7.0 [computer program]. SPSS Inc Chicago. III.
- Tanner, C.B. 1960. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. *Soil sci. Soc. Amer. Proc.* 24, 1 – 9.
- Van Dijk, I. A., 2002. Water and sediment dynamics in bench-terraced Agricultural Steeplands in West Java, Indonesia. PhD Thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam, 363pp.
- Vera, M. 1992. Incidencias del manejo tradicional sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de un vertic trophumult en ambiente bioclimático de selvas nubladas. *Agronomia Trop.* 42 (1-2):5-25.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. *Agricultural Handbook No 537*, Science and Education Administration, U.S.D.A., Washington D.C., 58pp.
- Wood, K.M., Jones, L.T. y Vexa-cruz, T.M., 1998. Rainfall interception by selected plants in the chihuahuan. *J. Range Manage.* 51:91-98.

ANEXO A

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL PERFIL TIPICO

Especificación	PROFUNDIDAD (cm)		
	0 - 27	27-46	46-80
Arena	52%	60,0%	50,0%
Arcilla	12%	6%	16%
Limo	36%	34%	34%
Textura	Fa - F	Fa	Fa
Capacidad de campo 1/3 atm	27,06%	21,43%	19,71%
Punto de marchitez permanente 15atm	19,98%	6,20%	5,59%
pH	5,26	5,25	5,28
C.O	8,39%	5,38%	1,86%
M.O	14,47%	9,27%	3,21%
N	0,59%	0,52%	0,95%
C/N	14,22	10,35	1,96
C.I.C	16,79meq/100g	12,69meq/100g	7,0meq/100g
Ca ⁺⁺	3,40meq/100g	1,01meq/100g	0,08meq/100g
Mg ⁺⁺	2,22meq/100g	0,38meq/100g	0,16meq/100g
K ⁺	1,78meq/100g	1,22meq/100g	0,59meq/100g
Na ⁺	0,08meq/100g	0,08meq/100gr	0,08meq/100gr

DESCRIPCION DEL PERFIL DE SUELO EN EL INSTITUTO DE
INVESTIGACION AGROPECUARIA IIAF.

PROFUNDIDAD (cm) Y HORIZONTES	CARACTERISTICAS
0 – 10cm (Ap)	Marrón 10YR 5/3 (S) y Marrón grisáceo muy oscuro 10YR 3/2 (H); Franco arenoso con poca grava (5 – 10%); bloques sub-angulares, moderado desarrollo, mediano; muy firme, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; poros abundantes, finos a medianos; raíces abundantes, finas; microorganismos, abundantes (bachacos, hormigas) no hay reacción al HCl; límite abrupto, irregular; pH: 6,60
10 – 27cm (Ah)	Marrón grisáceo 10YR 5/2 (S) y Marrón grisáceo muy oscuro 10YR 3/2 (H); franco arenoso con grava (10-25%); bloques sub-angulares; moderado desarrollo, medianos a fino; firme, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; poros, abundantes, finos a medianos; raíces, abundantes, finas; microorganismos, abundante (hormiga, lombrices); no hay reacción al HCl; límite, claro, irregular; pH: 6,00
27 – 85cm (C1)	Amarillo 10YR 7/6 (H) 60% y Marrón 10YR 5/3 (H) 40%; areno francoso con abundante grava (25 – 35%); bloques sub-angulares, débil, muy fina; suelta, ligeramente pegajoso y no plástico; poros, pocos muy finos; raíces, pocas, finas; microorganismos; pocos (hormigas); no hay reacción al HCl; límite claro, plano; pH: 5,50

ANEXO B

Datos promedios horarios de Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF), conductancia estomática (Ks) Transpiración (E) y Asimilación de CO₂ (A) en los tratamientos sin corte, con corte a 10 cm y con corte a 5 cm el 20/11/2002. Error estándar (E.E)

Hora	DFFF	Ks	E	A
Sc				
9:19	1794,45	182	4,93	28,41
E.E	43,55	8,49	0,11	0,63
11:25	1749,2	144,4	5,65	20,35
E.E	71,85	12,51	0,23	0,58
12:39	2103	308,89	9,50	29,67
E.E	15,71	28,11	0,34	1,38
15:23	1464,1	369,23	8,14	20,54
E.E	72,67	24,59	0,28	1,76
16:40	210,5	175,88	2,64	4,53
E.E	14,17	9,85	0,13	0,63
10 cm				
9:21	1811,83	109,58	3,81	18,80
E.E	31,37	5,42	0,21	0,36
11:26	1810,25	149,23	6,95	27,68
E.E	37,78	14,83	0,45	0,96
12:38	1659,62	216	7,77	20,27
E.E	66,39	17,08	0,30	1,40
15:22	1359,78	209,2	5,50	14,30
E.E	154,08	16,29	0,28	1,27
16:40	226,35	278,42	3,25	4,57
E.E	13,29	42,60	0,26	0,62
5 cm				
9:20	1575,4	99,5	3,36	19,53
E.E	41,2	3,74	0,25	1,19
11:26	1667,5	100	4,37	14,24
E.E	78,87	9,88	0,31	0,76
12:36	2080,2	195,88	7,44	24,77
E.E	69,39	20,86	0,57	3,07
15:26	1367	366,56	7,17	15,64
E.E	70,08	42,67	0,33	1,24
16:39	264,05	212,63	2,81	5,52
E.E	27,09	15,90	0,12	1,11

Datos promedios horarios de Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF), conductancia estomática (Ks) Transpiración (E) y Asimilación de CO₂ (A) en los tratamientos sin corte, con corte a 10 cm y con corte a 5 cm el 4/12/2002. Error estándar (E.E)

Hora	DFFF	Ks	E	A
Sc				
9:58	1391,5	422	6,14	29,25
E.E	4,36	65,71	0,38	0,73
11:25	1271,91	226,92	4,68	16,50
E.E	51,73	24,95	0,20	0,51
12:39	2158,36	391,25	9,90	20,22
E.E	30,55	15,31	0,28	0,38
15:23	653,64	373,57	5,38	12,37
E.E	43,86	13,39	0,11	1,11
16:40	156,18	222,2	2,90	4,81
E.E	0,61	33,65	0,22	0,33
10 cm				
9:52	1561,2	450	5,93	23,47
E.E	208,63	57,99	0,46	2,41
11:43	1791,46	466,92	9,78	23,06
E.E	73,96	56,3	0,75	1,36
14:51	707,38	340	5,02	13,96
E.E	37,53	33,89	0,28	1,28
16:37	175,3	183,3	2,55	4,52
E.E	6,46	19,43	0,17	0,41
5 cm				
9:46	1242,7	414,17	4,67	22,35
E.E	60,11	44,18	0,13	1,10
11:29	1878,08	227,5	3,59	32,09
E.E	54,11	44,15	0,41	0,85
14:46	643,5	226,67	4,28	11,01
E.E	8,77	18,67	0,14	0,68
16:32	163,25	177,5	2,56	5,95
E.E	0,26	14,81	0,14	0,38

Datos promedios horarios de Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF), conductancia estomática (Ks) Transpiración (E) y Asimilación de CO₂ (A) en los tratamientos sin corte, con corte a 10 cm y con corte a 5 cm el 5/03/2003. Error estándar (E.E)

Hora	DFFF	Ks	E	A
Sc				
9:46	1124,56	16,36	1,05	5,03
E.E	29,21	0,84	0,09	1,04
10:50	1679,33	20,71	1,68	5,52
E.E	1,97	0,18	0,017	0,37
12:16	2365,5	24,64	2,64	8,37
E.E	3,52	2,68	0,29	0,35
15:11	1844,18	16,73	2,18	5,83
E.E	2,74	0,32	0,038	0,076
16:40	1296,67	8,13	0,88	2,02
E.E	3,14	0,13	0,013	0,069
10 cm				
9:50	1470,69	20,72	1,29	7,11
E.E	2,51	0,29	0,018	0,45
11:26	1757,9	20,46	1,92	5,22
E.E	4,52	0,52	0,039	0,52
12:38	2449,09	15,49	2,21	4,55
E.E	1,36	0,98	0,13	0,19
15:22	1843,72	21,76	2,85	5,71
E.E	8,03	1,43	0,18	0,26
16:28	935	8,09	0,78	2,78
E.E	16,56	0,32	0,027	0,15
5 cm				
9:40	1202,46	26,54	1,24	8,29
E.E	17,09	1,33	0,062	0,16
10:49	2006,36	15,35	1,27	3,86
E.E	2,22	0,71	0,045	0,34
12:36	2272,25	21,88	2,30	7,40
E.E	15,18	0,84	0,088	0,18
14:58	1694,14	16,11	1,66	3,99
E.E	0,92	0,18	0,019	0,28
15:01	1673,9	17,79	2,03	4,09
E.E	3,89	0,51	0,087	0,38
16:10	1004,33	22,98	2,17	3,43
E.E	5,44	0,42	0,034	0,19

Datos promedios horarios de Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF), conductancia estomática (Ks) Transpiración (E) y Asimilación de CO₂ (A) en los tratamientos sin corte, con corte a 10 cm y con corte a 5 cm el 13/03/2003. Error estándar (E.E)

Hora	DFFF	Ks	E	A
Sc				
9:37	850,1	19,05	1,01	6,83
E.E	15,31	0,57	0,061	0,49
10:41	1835,15	10,36	0,89	5,27
E.E	2,94	0,38	0,033	0,15
12:48	1584,43	13,48	1,76	3,16
E.E	28,79	0,39	0,035	0,21
15:48	371,69	7,39	0,53	2,67
E.E	4,69	0,21	0,015	0,07
10 cm				
9:47	1152,2	13,41	0,96	3,84
E.E	4,23	0,30	0,022	0,1
10:48	1783,06	19,44	1,76	3,21
E.E	17,28	0,47	0,026	0,042
12:55	1637,91	13,52	2,07	2,45
E.E	17,29	0,36	0,056	0,22
15:57	542,95	12,11	0,88	5,12
E.E	4,73	0,41	0,036	0,21
5 cm				
9:27	1158,56	19,98	1,01	4,63
E.E	38,27	1,26	0,036	0,28
10:34	1037,92	15,52	0,92	5,42
E.E	76,28	0,52	0,044	0,13
12:41	1572,21	13,10	1,51	4,33
E.E	6,06	0,26	0,044	0,15
15:41	363,6	9,28	0,73	1,94
E.E	4,40	0,18	0,015	0,095

Análisis estadístico de Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF), conductancia estomática (Ks) Transpiración (E), Asimilación de CO₂ (A), eficiencia en el uso del agua (EUA) y eficiencia intrínseca en el uso del agua (A/Ks) entre los tratamientos sin corte, con corte a 10 cm y con corte a 5 cm el 20 de noviembre y 4 de diciembre del 2002 (período húmedo). Error estándar (E.E).

Mediciones	DFFF	Ks	E	A	EUA	A/Ks
20 noviembre 2002						
Sc	1463,76 ^a (63,58)	239,62 ^b (11,75)	6,33 ^b (0,24)	21,03 ^b (0,92)	3,39 ^b (0,15)	0,11 ^a (0,01)
10 cm	1469,22 ^a (66,69)	178,94 ^a (10,71)	5,00 ^a (0,19)	16,62 ^a (0,72)	3,65 ^a (0,23)	0,15 ^a (0,02)
5 cm	1419,94 ^a (58,10)	205,04 ^a (15,74)	5,19 ^a (0,23)	15,94 ^a (0,84)	3,58 ^a (0,24)	0,12 ^a (0,01)
4 diciembre 2002						
Sc	1087,6 ^a (108,7)	314,9 ^b (16,4)	5,80 ^c (0,37)	15,38 ^a (0,13)	2,74 ^{b,c} (0,06)	0,052 ^a (0,001)
10 cm	1116,75 ^a (120,67)	374,94 ^b (27,40)	6,25 ^b (0,46)	17,71 ^a (1,31)	2,71 ^b (0,20)	0,05 ^a (0,01)
5 cm	1006,85 ^a (96,84)	264,44 ^a (21,20)	3,82 ^a (0,16)	17,48 ^a (1,48)	4,27 ^a (0,45)	0,07 ^a (0,01)

* p < 0,05

Análisis estadístico de Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF), conductancia estomática (Ks) Transpiración (E). Asimilación de CO₂ (A), eficiencia en el uso del agua (EUA) y eficiencia intrínseca en el uso del agua (A/Ks) entre los tratamientos sin corte, con corte a 10 cm y con corte a 5 cm el 5 de marzo y 13 de marzo del 2003 (período seco). Error estándar (E.E).

Mediciones	DFFF	Ks	E	A	EUA	A/Ks
5 marzo 2003						
Sc	1712,73 ^a (64,91)	17,23 ^b (0,95)	1,72 ^a (0,12)	5,28 ^a (0,33)	3,02 ^a (0,16)	0,29 ^a (0,01)
10 cm	1682,21 ^a (67,59)	17,56 ^b (0,78)	1,83 ^a (0,11)	5,14 ^a (0,24)	3,23 ^a (0,23)	0,30 ^a (0,01)
5 cm	1582,46 ^a (57,99)	20,78 ^a (0,19)	1,75 ^a (0,06)	5,40 ^a (0,08)	3,47 ^a (0,03)	0,26 ^a (0,003)
13 marzo 2003						
Sc	1141,26 ^{a,b} (85,83)	11,86 ^b (0,94)	1,07 ^c (0,06)	4,33 ^a (0,07)	4,64 ^b (0,26)	0,38 ^b (0,02)
10 cm	1221,14 ^b (73,05)	15,00 ^a (0,64)	1,37 ^b (0,07)	3,87 ^a (0,16)	3,70 ^a (0,26)	0,27 ^a (0,01)
5 cm	1006,94 ^a (65,88)	14,55 ^a (1,19)	1,04 ^a (0,05)	4,00 ^a (0,20)	3,52 ^a (0,10)	0,28 ^a (0,01)

* p < 0,05

Datos promedios horarios de Potencial hídrico (Ψ_f) en *P. clandestinum* durante el 20/11/2002 y 4/12/2002 (periodo húmedo) en los tratamientos sin corte, con corte a 10 cm y con corte a 5 cm. Error estándar (E.E)

Hora	Ψ_f Sc	Ψ_f 10 cm	Ψ_f 5 cm
20/11/2002			
8:45	-0,32	-0,5	-0,13
E.E	0,24	0,37	0,01
10:50	-0,22	-1,4	-1,08
E.E	0,082	0,09	0,12
14:00		-0,2	-0,4
E.E			0,2
16:25	-0,73	-1,0	-1,05
E.E	0,089	0,15	0,4
4/12/2002			
9:15	-0,72	-0,7	-0,77
E.E	0,05	0,074	0,07
11:10			
E.E			
2:40	-0,17	-0,1	-0,32
E.E	0,08	0,02	0,12
4:30	-0,43	-0,5	-0,67
E.E	0,04	0,09	0,04

Datos promedios horarios de Potencial hídrico (Ψ_f) en *P. clandestinum* durante el 5/03/2003 y 13/03/2003 (periodo seco) en los tratamientos sin corte, con corte a 10 cm y con corte a 5 cm. Error estándar (E.E)

Hora	Ψ_f Sc	Ψ_f 10 cm	Ψ_f 5 cm
5/03/2003			
9:00 E.E	-1,3	-1,2	-1,4
10:20 E.E	-1,27 0,10	-1,7 0,041	-1,73 0,07
14:30 E.E	-2,03 0,09	-1,9 0,08	-2,1 0,09
15:45 E.E	-2,08 0,17	-1,9 0,09	-2,08 0,07
13/03/2003			
9:15 E.E	-1,23 0,04	-1,5 0,09	-1,48 0,07
12:15 E.E	-1,93 0,02	-2,1 0,074	-1,88 0,05
15:20 E.E	-1,6 0,07		-1,78 0,07

Datos promedios horarios de Humedad relativa y temperatura foliar (1 σ) e: *P. clandestinum* durante el 20/11/2002 (periodo húmedo). Error estándar en paréntesis.

Hora	HR	T _f
Sc		
8:45	82,80	21,60
10:50	65,3	32,1
12:15	59,27 (2,19)	25,50 (0,40)
14:00	58,77 (1,38)	25,31 (0,19)
16:25	73,80 (0,9)	23,3
10 cm		
8:45	79,8	21,6
10:50	65,4	32
12:15	63,27 (13,23)	27,53 (1,67)
14:00	55,97 (1,32)	24,23 (0,68)
16:25	72,50 (0,98)	19,81 (0,15)
5 cm		
8:45	74	21,5
10:50	52	32,1
12:15	59,70 (8,69)	31,23 (2,27)
14:00	51,17 (3,52)	24,19 (0,38)
16:25	69,93 (0,34)	22,19 (0,27)

Datos promedios horarios de Humedad relativa (HR) y temperatura foliar (T_f) en *P. clandestinum* durante el 4/12/2002 (periodo húmedo). Error estándar en paréntesis.

Hora	HR	T_f
Sc		
11:10	53,8	33,6
14:40	70,5	27,8
16:30	76,4	22,5
10 cm		
11:10	49,7	33,8
14:40	64,6	28,1
16:30	74,0	22,9
5 cm		
11:10	46,3	33,8
14:40	57,7	28,1
16:30	71,8	23,5

Datos promedios horarios de Humedad relativa (HR), temperatura fona: (T_f), temperatura del aire (T_a) y Déficit de Presión de Vapor (DPV), en *P. clandestinum* durante el 5/03/2003 (periodo seco).

Hora	HR %	T_f °C	T_a °C	DPV
Sc				
10:20	35,7	33,9	33	3,37
11:45	31,1	36,5	34,4	4,27
14:30	30,4	39,2	36,3	4,15
15:45	39,8	34,7	35,2	3,13
10 cm				
10:20	42,8	36,4	34,4	3,70
11:45	30,9	37,9	34,3	4,77
14:30	38,4	34,6	39,1	2,72
15:45	39	35,2	35	3,46
5 cm				
10.20	39,8	32,6	31,8	3,01
11:45	28,7	36,4	34,8	4,45
14:30	28,8	38	37,5	4,79
15:45	39,8	32,4	32,1	2,92

Datos promedios horarios de Humedad relativa (HR), temperatura roca (T_r), temperatura del aire (T_a) y Déficit de Presión de Vapor (DPV), en *P. clandestinum* durante el 13/03/2003 (periodo seco).

Hora	HR %	T_r °C	T_a °C	DPV
Sc				
8:50	47,1	27,3	25,4	2,09
10:15	42,9	32,8	31,7	2,90
12:15	38,4	33,4	35	2,93
15:20	43,3	30,8	30	2,52
10 cm				
8:50	44,7	26,7	21,8	2,30
10:15	41,8	35,9	31,3	3,87
12:15	37,3	36,2	34,3	3,97
15:20	44,6	31,2		
5 cm				
8:50	44	26,3	25,1	2,0
10:15	41,3	33,4	33	3,01
12:15	36,9	35,3	31	4,01
15:20	37,2	33,9	33,2	3,29

ANEXO C

Datos promedios horarios de Densidad de flujo fotonico fotosintetico (DFFF), conductancia estomática (Ks) Transpiración (E), Asimilación de CO₂ (A) y eficiencia intrínseca en el uso del agua (A/Ks) en *P. clandestinum* durante el 20/11/2002 y 4/12/2002 (periodo húmedo). Error estándar (E.E)

Hora	DFFF	Ks	E	A
20/11/2002				
9:20	1731,3	128,2	4,03	22,18
E.E	26,3	5,76	0,14	0,69
11:26	1779,9	118,8	5,03	19,14
E.E	50,6	10,1	0,35	0,76
12:36	2049,5	240,2	8,26	24,74
E.E	34,32	14,43	0,27	1,31
15:26	1397,1	321,34	6,98	16,68
E.E	54,55	20,70	0,21	0,86
16:39	233,4	224,0	2,91	4,87
E.E	11,22	17,44	0,11	1,22
4/12/2002				
9:54	1398,88	350,32	5,19	21,70
E.E	61,57	22,94	0,17	1,00
11:41	1925,83	400,26	8,43	24,70
E.E	42,63	33,91	0,60	1,03
14:52	671,21	309,12	4,88	12,44
E.E	20,62	17,77	0,14	0,63
16:37	164,22	188,53	2,67	5,18
E.E	2,21	9,45	0,10	0,24

Datos promedios horarios de Densidad de flujo fotonico fotosintetico (DFFF), conductancia estomática (Ks) Transpiración (E) y Asimilación de CO₂ (A) en *P. clandestinum* durante el 5/03/2003 y 13/03/2003 (periodo seco). Error estándar (E.E)

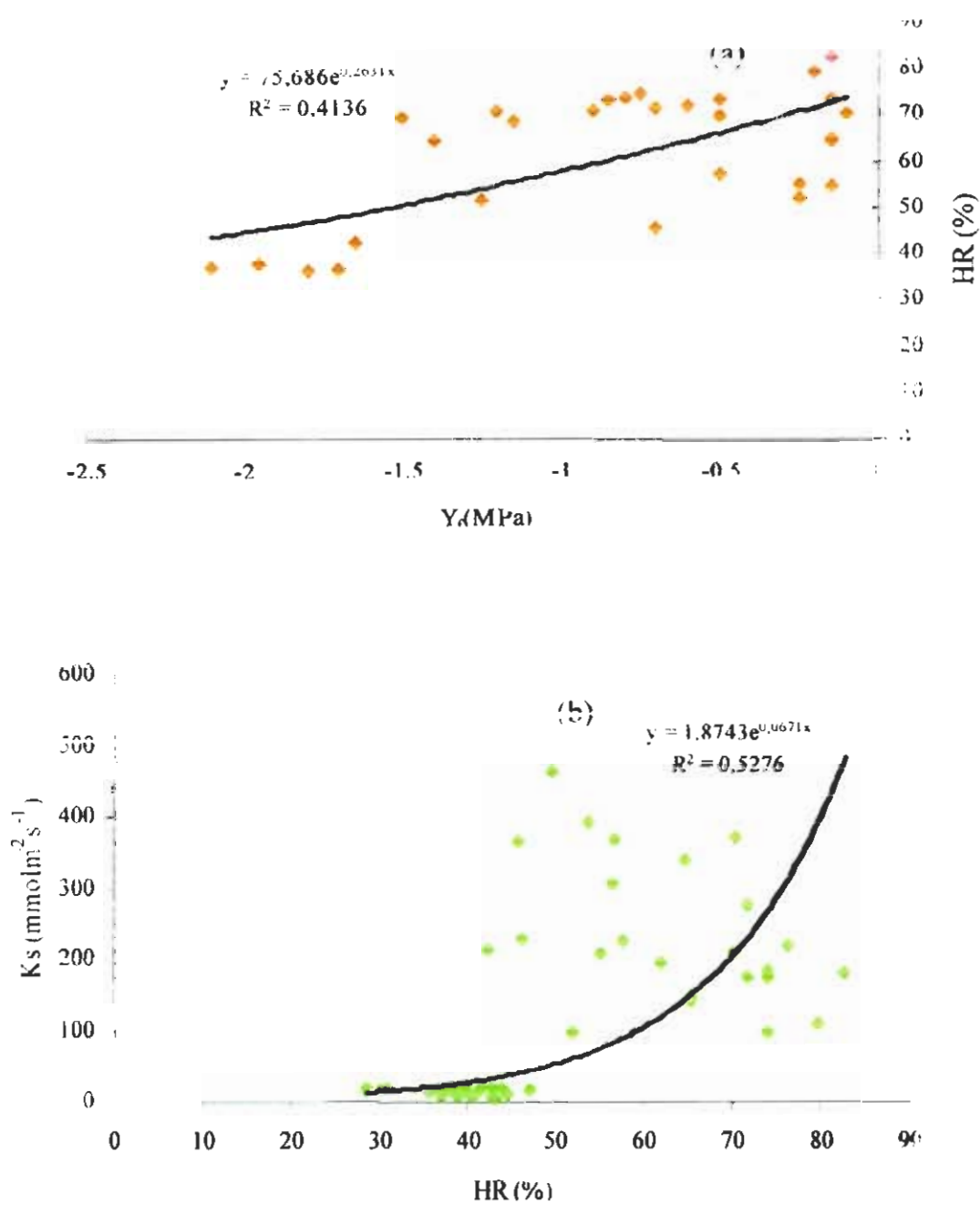
Hora	DFFF	Ks	E	A
5/03/2003				
9:45	1290,32	21,76	1,21	6,83
E.E	27,12	0,89	0,04	0,34
10:57	1825,43	18,78	1,62	4,81
E.E	27,20	0,57	0,06	0,24
12:15	2371,30	20,16	2,38	6,72
E.E	13,96	1,14	0,11	0,33
15:09	1773,46	18,52	2,29	5,05
E.E	13,63	0,62	0,10	0,19
16:19	1062,72	13,86	1,35	2,81
E.E	28,28	1,38	0,13	0,14
13/03/2003				
9:37	1050,00	17,07	0,99	5,06
	30,93	0,68	0,03	0,28
10:41	1581,49	14,73	1,19	4,72
	61,06	0,66	0,07	0,17
12:48	1595,13	13,38	1,78	3,40
	12,98	0,19	0,04	0,16
15:49	434,34	9,56	0,72	3,38
	12,67	0,35	0,03	0,22

Datos promedios horarios de Potencial hídrico (Ψ_f), Humedad relativa y temperatura foliar (T_f) en *P. clandestinum* durante el 20/11/2002 y 4/12/2002 (periodo húmedo). Error estándar (E.E)

Hora	Ψ_f	HR	T_f
20/11/2002			
8:45	-0,32	78,87	21,57
E.E	0,12	3,17	0,04
10:50	-0,88	60,90	32,07
E.E	0,19	5,47	0,04
		60,7	29,9
		4,0	0,7
14:00	-0,34	55,3	30,5
E.E	0,14	2,52	0,1
16:25	-0,92	72,08	23,1
E.E	0,11	0,70	0,04
4/12/2002			
9:15	-0,72		
E.E	0,03		
11:10		49,93	33,73
E.E		2,66	0,08
2:40	-0,2	64,3	28,0
E.E	0,05	4,5	0,1
4:30	-0,53	74,07	22,97
E.E	0,05	1,63	0,36

Datos promedios horarios de Potencial hídrico (Ψ_f), Humedad relativa (HR), Temperatura foliar (T_f), Temperatura del aire (T_a) y déficit de presión de vapor (DPV) en *P. clandestinum* durante el 5/03/2003 y 13/03/2003 (periodo seco). Error estándar (E.E)

Hora	Ψ_f	HR	T_f	T_a	DPV
5/03/2003					
9:00	1,3				
E.E	0,07				
10:20	1,6	39,4	34,3	33,1	3,4
E.E	0,1	2,5	1,4	0,9	0,2
11:45		30,23	36,93	34,50	4,5
E.E		0,94	0,59	0,19	0,2
14:30	2,02	32,53	37,27	37,63	3,9
E.E	0,05	3,65	1,69	1,00	0,8
15:45	2,01	39,80	34,10	34,10	3,2
E.E	0,07	0,57	1,06	1,23	0,2
13/03/2003					
8:50	1,4	45,3	26,8	45,3	2,1
E.E	0,1	1,2	0,4	1,2	0,1
10:15		42,0	34,0	42,0	3,3
E.E		0,6	1,2	0,6	0,4
12:15	1,98	37,53	34,97	37,53	3,6
E.E	0,05	0,55	1,01	0,55	0,4
15:20	1,7	41,7	32,0	41,7	2,90
E.E	0,1	2,8	1,2	2,8	0,54



Figuras. (a) Relación entre la humedad relativa (HR) y el potencial hídrico foliar (ψ_f) y (b) relación entre la conductancia estomática (K_s) y la humedad relativa (HR) agrupando los distintos tratamientos. Datos correspondientes a cuatro cursos diarios realizados tanto en el período húmedo como en el período seco