

# DINAMICA DEL AGUA EN EL SUELO, EVAPORACION Y TRANSPIRACION EN UNA PASTURA Y UN CULTIVO DE MAIZ SOBRE UN ALFISOL EN LOS LLANOS OCCIDENTALES DE VENEZUELA

## DYNAMICS OF SOIL WATER, EVAPORATION, AND TRANSPIRATION IN A PASTURE AND A CORN FIELD ON AN ALFISOL IN THE VENEZUELAN WESTERN LLANOS

Guillermo Sarmiento y Dimas Acevedo

*Centro de Investigaciones Ecológicas de Los Andes Tropicales  
(CIELAT), Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes  
Mérida 5101, Venezuela.*

### RESUMEN

El contenido relativo de agua en el suelo fue cuantificado durante un período de dos años, a intervalos de 14 a 30 días y, a cinco profundidades (10, 25, 40, 70 y 120 cm). Los sitios de muestreo fueron una pastura permanente de *Digitaria decumbens* Stent y en un cultivo anual de secano (*Zea mays*), sobre un alfisol de la Serie Barinas (*Tropustalf óxico*), en la región de sabanas de los Llanos Occidentales de Venezuela.

En forma experimental fue estimada la evaporación directa del suelo desnudo. Se midió el DVP y la conductancia estomática, en las mismas especies, durante cinco ciclos diarios en diferentes épocas del año para calcular las tasas transpiratorias puntuales y, en base a ellas las pérdidas transpiratorias diarias y anuales. El contenido de agua almacenado en el suelo (0-120 cm) es menor en la parcela de maíz durante el período de crecimiento del cultivo y similar en ambas parcelas durante el período de barbecho. La evaporación directa medida fue equivalente al agua útil almacenada en los primeros 27 cm del suelo. Las tasas transpiratorias puntuales tienen valores máximos de  $16 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en la pastura durante la estación húmeda y desde 6 a  $8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  durante la estación seca. En el maíz, las tasas transpiratorias máximas oscilan entre 7 y  $9 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Estos valores puntuales de transpiración medidos para las cuatro gramíneas representan una oscilación entre 4 y 13 mm/día. Se discute la problemática de la extrapolación de dichos valores a pérdidas por evapotranspiración real, analizando el significado ecológico de estos valores para la economía hídrica de los respectivos agroecosistemas.

PALABRAS CLAVES: Agroecosistemas, pastura, maíz, agua en el suelo, evaporación, transpiración, sabanas.

### ABSTRACT

Soil water content was measured fortnightly or monthly for two years, at five soil depths (10, 25, 40, 70 and 120 cm) in an infrequently clipped *Digitaria decumbens* meadow and in a maize field, on an alfisol (*Oxic tropustalf*) in Barinas, in the savanna area of the Venezuelan Western Llanos. DPV and leaf conductance were measured along five daily cycles to calculate transpiration, and evaporation was measured from an intact column of bare soil.

Total soil water (0-120 cm) under maize was consistently higher than under the grass, while soil water in the meadow was about the same than in the fallow after the harvesting of corn. Soil evaporation was equivalent to the plant available water stored in the upper 27 cm of soil. Instantaneous transpiration fluxes attained maximum values of  $16 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  in the meadow during days in the rainy season and from 6 to  $8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  at the start of the dry season. In maize, maximum transpiration fluxes ranged from 7 to  $9 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . These values obtained in the four grasses represent a range between 4 and 13 mm/day. We discussed how to extrapolate these figures to obtain an estimate of daily and seasonal transpiratory water losses in order to complete the annual water budget in both agroecosystems.

KEY WORDS: Agroecosystems, pasture, maize, soil water, evaporation, transpiration, savannas.

## INTRODUCCION

Dos tipos de agroecosistemas están adquiriendo importancia creciente en los suelos bien drenados, con vegetación de sabanas estacionales, de los Llanos Altos Occidentales: las pasturas mejoradas y los cultivos anuales de secano. Analizar el comportamiento hidrológico y los procesos responsables del mantenimiento de la fertilidad del suelo, en cada uno de estos tipos de ecosistemas culturales, constituye el objetivo central de un programa de investigación en el que nos propusimos medir entradas, flujos internos y salidas de agua, para compararlos con el funcionamiento de la sabana original y predecir así algunas posibles consecuencias de la conversión del paisaje primitivo de sabanas en el paisaje humanizado de pasturas y cultivos. Cuantificar los flujos de agua, considerando al agua como vector de nutrientes y de otros materiales transportados en solución y en suspensión, nos permitirá, conociendo la concentración de los elementos en cada flujo, establecer las transferencias de nutrientes en estos ecosistemas. Además usando  $^{15}\text{N}$  como marcador, nos permitirá seguir el destino de los fertilizantes nitrogenados utilizados regularmente en la agricultura sobre estos suelos.

Como ejemplo de pastura mejorada se escogió un pastizal de pangola (*Digitaria decumbens* Stent), en tanto que se utilizó al maíz como ejemplo típico de cultivo anual de secano, que ha sido en los últimos años el principal cultivo en estos suelos. El experimento se llevó a cabo en el campo experimental del Jardín Botánico de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora (UNELLEZ), situado en las afueras de la ciudad de Barinas ( $8^{\circ} 36'\text{N}$ ;  $70^{\circ} 12'\text{W}$ ; 180 m). El suelo corresponde a la Serie Barinas (Zinck y Stagno 1966) y es representativo de los alfisoles bien drenados (*Tropustalf óxico*) que predominan sobre los depósitos aluviales del Cuaternario medio (Qii), donde se asienta gran parte de la expansión agrícola de los últimos 20 años en su avance sobre las sabanas estacionales originales (Sarmiento 1983).

Acevedo (1988) presentó resultados de un año de medición de los elementos del balance hídrico en estos dos agroecosistemas, mientras que en un trabajo previo (Acevedo y Sarmiento 1990) se consideraron los procesos de interceptación por la vegetación, escorrentía superficial y drenaje profundo. En este trabajo discutiremos los resultados obtenidos sobre la marcha estacional de

la humedad del suelo, así como las pérdidas de agua por evaporación y por transpiración.

La precipitación en la estación meteorológica más cercana, Barinas-Aeropuerto, a 8 km en línea recta de las parcelas experimentales, alcanza un valor anual de  $1629,2 \pm 237$  mm, para el período comprendido entre 1975-86. En el sitio experimental medimos durante el primer año agrícola (Junio 1986 a Mayo 1987) 1720,9 mm y 1493,6 mm en el segundo año (Junio 1987 a Mayo 1988). Es decir, los totales anuales en el sitio experimental no difieren significativamente de los valores de la estación meteorológica y las lluvias durante los dos años del experimento se mantuvieron dentro del intervalo normal en la zona.

La repartición de las lluvias es netamente estacional, típica del clima sabánico de los Llanos, con una estación lluviosa desde Abril hasta Noviembre, alternando con una estación seca desde Diciembre hasta Marzo. Con respecto a los dos años de mediciones, la estación seca 86/87 duró cuatro meses, comenzando las lluvias en Abril de 1987, en cambio la estación seca 87/88 se prolongó hasta Mayo, es decir seis meses consecutivos (Fig. 1a).

## METODOLOGIA

El diseño experimental para medir los restantes parámetros del balance hídrico fue descrito anteriormente (Acevedo y Sarmiento 1990). El trabajo fue realizado en dos parcelas adyacentes sobre el mismo suelo. Una parcela de 500 m<sup>2</sup> fue sembrada en mayo de 1986 con estolones de *D. decumbens*, la otra de 360 m<sup>2</sup> con

maíz, a una densidad de 55000 plantas por hectárea (90 cm entre filas y 20 cm entre plantas). Cada vez que su desarrollo lo permitía, el pasto era cortado, con un total de 7 cortes en dos años. El maíz fue cosechado en octubre de 1986, volviéndose a repetir el ciclo de cultivo en las mismas condiciones entre Mayo y Octubre de 1987. Después de cada cosecha la parcela quedaba en barbecho, el rastrojo en pie era picado y enterrado para incorporar los nutrientes al suelo, creciendo libremente malezas hasta que era desmalezada pocos días antes de la nueva siembra, incorporando también la maleza al suelo.

De acuerdo a la descripción y análisis del perfil del suelo (Hétier et al 1989), en cada uno de los horizontes reconocidos hasta 120 cm se midió el contenido de agua colocando permanentemente sensores de fibra de vidrio (Soil Test Mc. 310A), realizando las correspondientes lecturas de resistencia eléctrica con un ohmómetro (Soil Test Mc. 300B). En cada parcela se instalaron, cuidando de no alterar el suelo, sensores a 10, 25, 40, 70 y 120 cm de profundidad, seis réplicas por horizonte colocadas a 25 cm en la pastura y a 18 cm en el cultivo, de modo de abarcar en este caso toda la distancia entre dos filas adyacentes (90 cm). Se dispusieron así en total 60 sensores, 30 en la parcela de *D. decumbens* y 30 en la del cultivo anual. Las lecturas se realizaron durante dos años, a intervalos de 15 días durante la estación lluviosa y de un mes durante el período seco.

Antes de ser instalados en el campo, los sensores fueron calibrados en el laboratorio con el mismo suelo en el que iban a ser colocados, obteniendo para cada horizonte la curva de calibración resistencia (ohms) vs. contenido relativo

de humedad (CRH%, gramos de agua/gramos de suelo seco). La resistencia para los 12 sensores correspondientes a cada profundidad se graficó a escala logarítmica contra el CRH%. Las curvas fueron ajustada a una polinómica de tercer orden ( $r = 0,91$  a  $0,96$ ).

Para transformar los resultados de CRH% en agua total almacenada en el perfil de suelo, se determinó para cada horizonte la densidad aparente (gramos de suelo seco/cm<sup>3</sup> de suelo). El CRH% multiplicado por el respectivo volumen por metro cuadrado de superficie y por la densidad aparente se convierte en litros/m<sup>2</sup> de terreno, o lo que es lo mismo mm de agua en el perfil. La densidad aparente de cada horizonte se determinó extrayendo con un cilindro metálico de volumen conocido tres muestras de suelo intacto, secándolas a 105 °C hasta peso constante y obteniendo el peso seco.

En la parcela de *D. decumbens* los sensores permanecieron todo el tiempo bajo la cubierta del pastizal, en tanto que en la parcela cultivada con maíz, el terreno sobre los sensores se mantuvo libre de malezas después de la cosecha (por deshierbe manual) hasta comenzar el nuevo ciclo de cultivo. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este caso corresponden a la alternancia en el ciclo agrícola de un período de cultivo con otro de suelo desnudo. Debido a la prolongación de la estación seca, la parcela de pangola debió ser regada a comienzos de abril de 1988 para asegurar su mantenimiento.

Para verificar los resultados obtenidos por ohmometría se utilizó el método gravimétrico, tomando periódicamente cinco muestras de suelo en cada horizonte.

Las curvas pF se construyeron

utilizando una olla de presión Soil Test con platos porosos de 0,3 y 15 bares, tomando en cada caso tres réplicas por horizontes para calcular la capacidad de campo, punto de marchitez permanente y agua útil.

La evaporación directa desde la superficie del suelo fue estimada experimentalmente. Se tomaron 3 muestras de suelo intacto mediante un cilindro metálico de 7 cm de diámetro y 30 cm de largo. En el laboratorio las muestras fueron saturadas, después se dejaron drenar libremente hasta alcanzar la capacidad de campo, luego fueron pesadas diariamente hasta mantener un peso constante. La diferencia de peso estima las pérdidas totales de agua por evaporación a partir de un suelo saturado y desprovisto de vegetación.

La conductancia estomática (Ks) fue medida con un porómetro de estado estable construido en el Laboratorio del CIELAT de la ULA. Simultáneamente con la conductancia estomática se medía la temperatura del aire y de las hojas con termocuplas de cobre-constantán y un microvoltímetro digital Data Precision 258, así como la humedad relativa con un psicrómetro tipo Assman. En base a estos parámetros se calculó la transpiración (E).

Se midieron cinco ciclos diarios con intervalos entre 60 y 90 minutos. En cada caso se tomaba en tres plantas diferentes una hoja desarrollada expuesta al sol. Además de los ciclos diarios en pangola y maíz, se midieron dos ciclos en las dos malezas que presentaban mayor cobertura: *Cenchrus pilosus* en la pastura y *Panicum maximum* en el barbecho de maíz.

Graficando los valores puntuales de transpiración se obtuvieron las respectivas curvas diarias. Luego con el área bajo la

curva se estimó la transpiración diaria. Multiplicando esos valores por el índice de superficie foliar (ISF) en cada fecha, se calculó la tasa transpiratoria por unidad de superficie del terreno.

## RESULTADOS

### Agua en el suelo

La dinámica hídrica en cada uno de los horizontes del perfil a lo largo de todo

el período de mediciones aparece representada en la Figura 1 para la parcela de *D. decumbens* y en la Figura 2 para el caso del suelo bajo maíz/barbecho. Para mayor claridad se han graficado separadamente las curvas correspondientes a los dos horizontes superiores (10 y 25 cm) y a los tres inferiores (40, 70 y 120 cm). Se incluye en la Figura 1, el histograma con la marcha mensual de las precipitaciones de la estación meteorológica Barinas-Aeropuerto, que no difiere

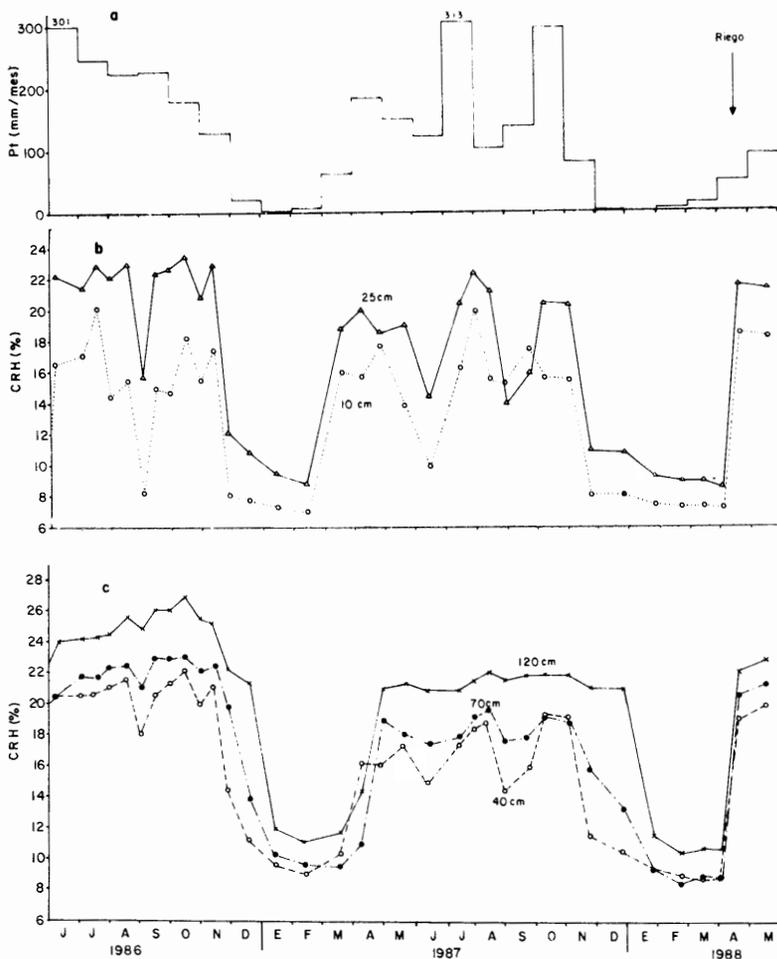
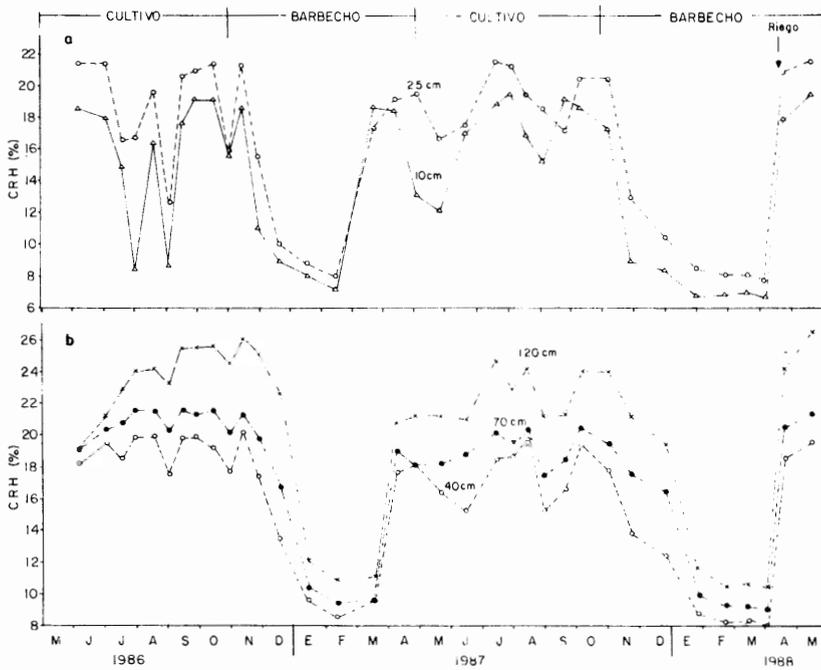


FIGURA 1. Contenido relativo de humedad del suelo (CRH%) en la pastura de *Digitaria decumbens* a lo largo del período de mediciones. a) Precipitación mensual en Barinas; b) CRH% a 10 y 25 cm; c) CRH% a 40, 70 y 120 cm.

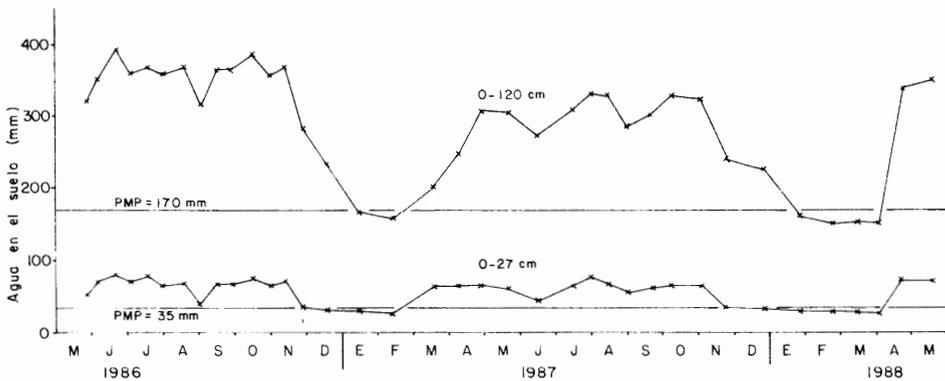


**FIGURA 2.** Contenido relativo de humedad del suelo (CRH%) en la parcela con cultivo de maíz y suelo desnudo, a lo largo del período de mediciones. a) CRH% a 10 y 25 cm; b) CRH% a 40, 70 y 120 cm.

significativamente de los valores de precipitación medidos en las parcelas, pero que tienen la ventaja de estar expresadas en base mensual.

En el caso de la parcela de pasto, los valores de CRH% se transformaron

en agua total almacenada en el suelo (Figura 3), considerando ya sea la totalidad del perfil (0-120 cm) o solo los dos horizontes superiores (0-27 cm) donde se concentra la mayor parte de la biomasa radical de *D. decumbens*. Las curvas



**FIGURA 3.** Agua total almacenada en el suelo en la parcela de pasto. La curva superior representa el agua almacenada en 120 cm, la curva inferior el agua en los dos primeros horizontes (0-27 cm). Se indican los valores respectivos del punto de marchitamiento permanente.

respectivas de la parcela de maíz/ barbecho son muy similares, pero el contenido de agua en el suelo durante el período de crecimiento del maíz resulta menor con diferencia significativa a  $P < 0,005$  (test del rango con signo de Wilconson en Sokal y Rohlf 1976). En el período de barbecho el mismo test no dió

diferencia significativa entre ambas parcelas. Algunas propiedades físicas de los cinco horizontes considerados, conjuntamente con los valores obtenidos con las curvas pF para la capacidad de campo (0,01 bar), punto de marchitez permanente (15 bar) y agua útil, se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Propiedades físicas del perfil del suelo, contenido relativo de humedad (CRH) en la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) y, el agua útil determinados a partir de las curvas pF. En cada horizonte la cifra superior es el CRH % y la inferior su valor en mm.

| Horizonte<br>(cm)          | Textura | Densidad<br>Aparente<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | CRH<br>-0,01 b<br>CC | CRH<br>-15 b<br>PMP | Agua<br>Útil |
|----------------------------|---------|----------------------------------------------|----------------------|---------------------|--------------|
| AP <sub>1</sub><br>(0-17)  | Fa      | 1,28                                         | 15,9<br>34,6         | 6,5<br>14,1         | 9,4<br>20,5  |
| AP <sub>2</sub><br>(17-27) | Fa      | 1,52                                         | 16,2<br>24,6         | 7,2<br>10,9         | 9,0<br>13,7  |
| B <sub>1</sub><br>(27-60)  | FAa     | 1,45                                         | 19,6<br>93,8         | 9,3<br>44,5         | 10,3<br>49,3 |
| B <sub>2</sub><br>(60-90)  | FAa     | 1,45                                         | 19,9<br>86,6         | 10,5<br>45,7        | 9,1<br>40,9  |
| C <sub>1</sub><br>(90-120) | FAa     | 1,31                                         | 23,0<br>90,4         | 12,3<br>48,3        | 10,7<br>42,1 |
| Total acumulado<br>(mm)    |         |                                              | 328,1                | 163,5               | 166,5        |

### Evaporación y transpiración

La experiencia realizada con columnas de suelo intacto para calcular la evaporación máxima del suelo desnudo dió un valor de 33,9 +/- 2,5 mm como pérdida total de agua hasta alcanzar peso

constante, equivalente al 20,4% del agua útil almacenada en el perfil (0-120 cm). Si consideramos los 2 primeros horizontes (0-27 cm) ya que la columna mide 30 cm, obtenemos que el 99,1% del agua útil almacenada fué evaporada directamente.

Los patrones diarios de transpiración de *D. decumbens* pueden agruparse en dos

tipos básicos de comportamiento: uno que representa la marcha diaria de la transpiración de esta especie durante la estación lluviosa, cuando existe suficiente agua disponible en el suelo, el otro nos indica la reacción estomática durante el período anual con déficit de humedad en los horizontes superiores del suelo. En la Figura 4 se presentan las marchas diarias del déficit de presión de vapor (DPV), la temperatura foliar (Tf), la conductancia

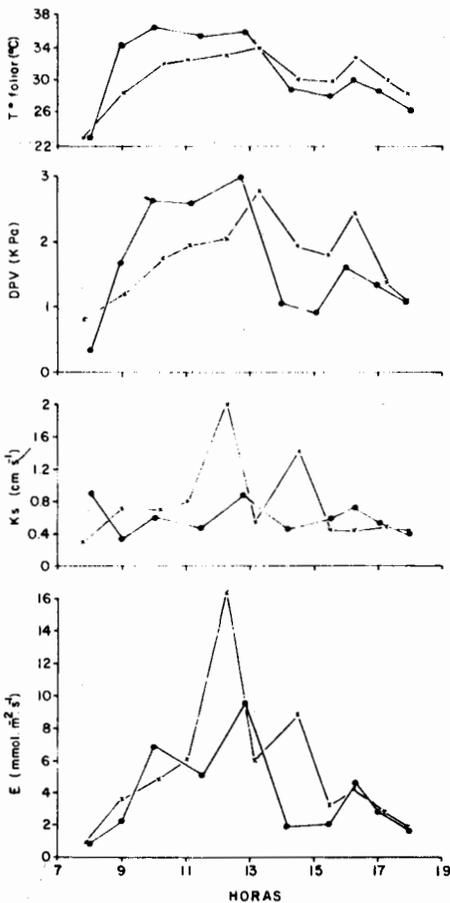


FIGURA 4. Dos ciclos diarios de la transpiración y otras variables relacionadas, en *Digitaria decumbens*. Un ciclo corresponde al 16-09-86, en la estación húmeda (X), el otro (28-11-86) al comenzar la estación seca (●).

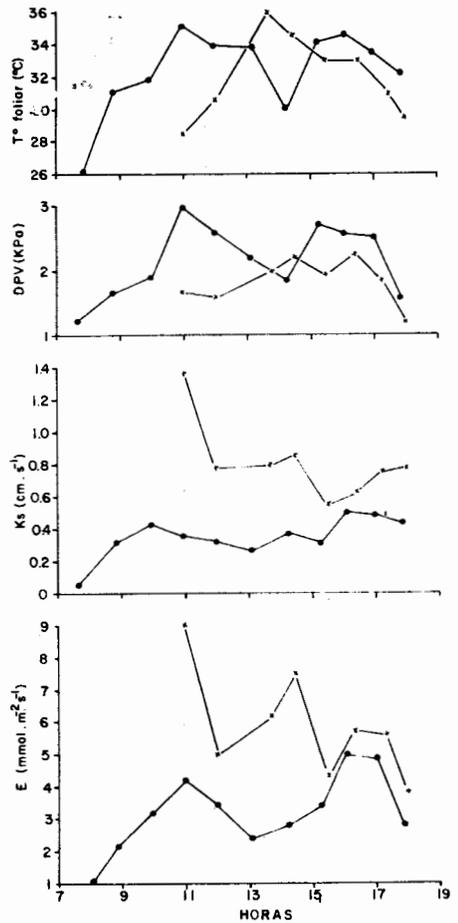


FIGURA 5. Dos ciclos diarios de la transpiración y otras variables relacionadas en el maíz. Uno corresponde a la fase de máximo crecimiento del cultivo, a los 57 días de la siembra (18-07-86), el otro a la fase de maduración del grano, a los 119 días de sembrado (16-09-86).

estomática (Ks) y el flujo transpiratorio (E) en *D. decumbens* para un día de la estación húmeda (16/09/86) y otro día ya a comienzos de la estación seca (28/11/86). En el caso del maíz, cuyo ciclo transcurre enteramente durante la estación húmeda, se han tomado como representativas de su comportamiento transpiratorio las mediciones efectuadas a los 57 días de la siembra (18/07/86), en

pleno apogeo vegetativo e inicio de la floración, y otro ciclo a los 117 días de la siembra (16/09/86), cuando el aparato fotosintético comienza su senescencia y el fruto su maduración (Figura 5).

En la Tabla 2 se presenta una síntesis de los resultados de transpiración para las cuatro especies de gramíneas analizadas, indicando por una parte los valores puntuales máximos medidos y por otra

Tabla 2. Valores máximos puntuales (E máx) de transpiración, diarios por unidad de superficie foliar y por unidad de superficie de terreno calculados a partir de ISF para las cuatro especies de gramíneas.

| Especie                       | Fecha | E máx<br>puntual<br>(mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) | E diaria<br>hoja<br>(L m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ) | ISF  | E diaria<br>terreno<br>(mm/d) |
|-------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------|-------------------------------|
| <i>Digitaria<br/>decumbes</i> | 16-07 | 9,2                                                         | 4,39                                                     |      |                               |
|                               | 18-07 | 6,8                                                         | 3,31                                                     |      |                               |
|                               | 15-09 | 7,9                                                         | 2,70                                                     | 5,52 | 14,9                          |
|                               | 16-09 | 16,5                                                        | 4,06                                                     | 5,52 | 22,4                          |
|                               | 28-11 | 9,6                                                         | 2,93                                                     | 4,77 | 14,0                          |
| <i>Zea mays</i>               | 16-07 | 11,5                                                        | 4,36                                                     | 3,09 | 13,5                          |
|                               | 18-07 | 9,1                                                         | 3,96                                                     | 3,09 | 12,2                          |
|                               | 15-09 | 5,4                                                         | 2,41                                                     | 1,39 | 3,4                           |
|                               | 16-09 | 5,0                                                         | 2,24                                                     | 1,39 | 3,1                           |
| <i>P. maximum</i>             | 28-11 | 8,5                                                         | 2,63                                                     |      |                               |
| <i>C. pilosus</i>             | 15-09 | 11,8                                                        | 4,02                                                     |      |                               |
|                               | 16-09 | 13,0                                                        | 4,51                                                     |      |                               |
|                               | 28-11 | 5,7                                                         | 2,28                                                     | 0,21 | 0,50                          |

parte los correspondientes valores diarios de transpiración por unidad de superficie foliar y por unidad de superficie de terreno, para poder compararlos así con otros parámetros del balance hídrico de los respectivos agroecosistemas. El ciclo diario de la maleza dominante en la pastura (*C. pilosus*) corresponde a la estación húmeda cuando su desarrollo es máximo, ya que más tarde, por tratarse de una especie anual, declina y desaparece. En el caso de la especie que se hace rápidamente dominante en el

barbecho después de la cosecha de maíz (*P. maximum*), el ciclo representado corresponde a la estación seca.

## DISCUSION

### Agua en el suelo

La marcha anual del contenido relativo de humedad del suelo en ambos ecosistemas refleja fielmente el patrón estacional de distribución de las

precipitaciones, con contenidos de agua relativamente elevados en todo el perfil durante la estación de lluvias y valores muy bajos durante los meses secos (Figuras 1 y 2). Sin embargo se produce, como es de esperar, un desfase entre el inicio de las lluvias y la recarga de agua en el suelo, así como entre el vaciado del suelo y la finalización de la estación húmeda. Así en abril de 1987, al inicio de la estación lluviosa, el suelo en la parcela de pasto se va recargando desde la superficie hacia la profundidad. El horizonte más húmedo es el de 25 cm, seguido de los de 10 y 40 cm, en tanto que el de 70 cm aún permanece seco y el de 120 cm solo ha aumentado muy ligeramente su contenido de agua. Un mes más tarde, los tres horizontes intermedios muestran aproximadamente el mismo CRH%, mientras que el horizonte superficial está más seco, probablemente debido a su utilización intensiva por las raíces de *D. decumbens*, y el horizonte más profundo es el más húmedo y permanecerá así durante todo el resto de la estación de lluvias.

Al comenzar la estación seca, el suelo se va secando desde arriba hacia abajo, de modo que el horizonte más profundo aún permanece húmedo después de dos meses en que los niveles más superficiales ya se han desecado. En la parcela de maíz se producen procesos similares durante la humectación y el desecamiento.

Antes de referirnos a los valores medidos de CRH%, es conveniente comparar los resultados obtenidos con ohmometría con las determinaciones gravimétricas, para calibrar así la precisión del método que utilizamos durante todo el tiempo de mediciones. Tenemos mediciones gravimétricas en diferentes

períodos del año para cada horizonte del suelo. Como tendencia general, los valores obtenidos son algo más bajos que los de ohmometría, es decir los sensores sobreestiman el CRH% del suelo. La media de todos los valores obtenidos por gravimetría en todas las determinaciones fue de 15,45 +/- 1,05 frente a 16,84 +/- 0,96 obtenido para las mismas fechas y los mismos horizontes midiendo resistencia eléctrica.

Como nuestra discusión se centrará en la comparación entre horizontes y entre ecosistemas, este error sistemático no distorsiona las comparaciones. Sin embargo, cuando nos vayamos a referir a valores mínimos de CRH% o a la duración del período durante el cual el suelo permanece seco, debemos tener en cuenta la sobreestimación de nuestras mediciones. Si esta sobreestimación es del orden de 1,5%, en 120 cm de suelo esto representa unos 25 mm menos de agua, lo que extendería el período seco en alrededor de un mes (Figura 3).

Los valores de CRH% más altos medidos en ambos agroecosistemas, del orden de 20 al 26%, son superiores a la capacidad de campo, equivalentes a potenciales hídricos de 0,01 bar o aún menores, sin embargo ellos no representan un estado de saturación hídrica prolongada en ningún horizonte excepto en el más profundo. Por otra parte los valores más bajos medidos durante la estación seca, 7 al 11%, corresponden a potenciales cercanos a las 15 atm., es decir el suelo está seco para las plantas que no pueden extraer agua a bajos potenciales hídricos, como es el caso de *D. decumbens*. Puede verse en la Figura 3 que, considerando un espesor de suelo de 120 cm, las reservas de agua en el pastizal se sitúan

por debajo del PMP por períodos entre uno y tres meses.

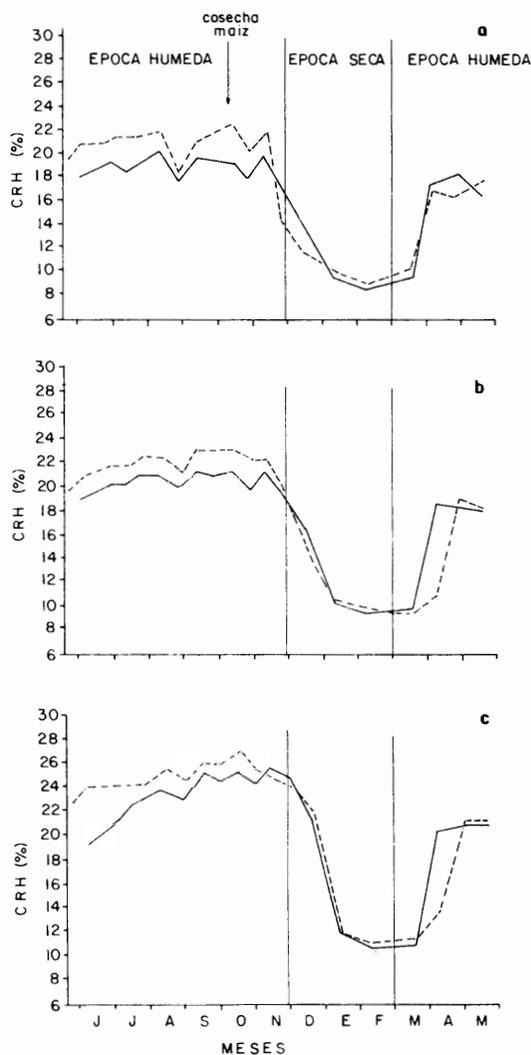
Asimismo, pudimos observar durante la estación seca del 86/87 como en las plantas de pangola confinadas en lisímetros de 120 cm de profundidad, el follaje se secaba totalmente, mientras que las plantas en el resto de la parcela, aún dando muestras evidentes de sufrir por falta de agua, conservaban parte de su follaje verde, sugiriendo que podían extraer agua de niveles donde todavía había, es decir por debajo de los 120 cm. Bajo estas condiciones climáticas y edáficas, solamente pueden sobrevivir gramíneas capaces de extraer agua a muy bajos potenciales hídricos del suelo, como es el caso de las gramíneas perennes de la sabana estacional original (Goldstein y Sarmiento 1987), o plantas que alcanzan niveles profundos, como parecerá ser el caso de *D. decumbens*. Adicionalmente, el agua disponible en los primeros 120 cm de suelo en la pastura fue suficiente para cubrir las demandas por un período de más de dos meses después de finalizada la estación de lluvias (Figura 3).

Al considerar las variaciones del CRH% en cada horizonte (Figuras 1 y 2), vemos que en la pastura el nivel superficial (10 cm) es el que tiene menos agua casi durante todo el año, además de presentar mayores oscilaciones del CRH% durante la estación de lluvias. Es decir, acumula el agua de lluvia y la pierde por evapotranspiración y drenaje interno mucho más rápidamente que los horizontes más profundos. Lo mismo sucede en la parcela de maíz. Las oscilaciones aún son fuertes a 25 cm, atenuándose en los horizontes de 40 y 70 cm para casi desaparecer a 120 cm, donde el CRH% permanece relativamente

estable durante toda la estación lluviosa. En el maíz, aún en este horizonte más profundo se producen oscilaciones, lo que está sugiriendo una explotación más intensiva del suelo profundo por parte de esta especie, en comparación con *D. decumbens*.

Sin lugar a dudas, el nivel de 120 cm es el que mantiene mayores CRH% en ambos agroecosistemas, reflejo de la menor utilización de agua por la vegetación en este horizonte. Es posible que haya algún aporte por ascenso capilar desde el nivel freático, que en la estación lluviosa asciende hasta alrededor de 250 cm, pero nunca debe ser mucho el ascenso capilar desde 250 hasta 120 cm. En la época seca el aporte es nulo ya que el nivel freático desciende hasta 5 m de profundidad. Creemos que la recarga más rápida del horizonte de 120 cm al comenzar las lluvias, en relación a los horizontes superiores, contrariamente a lo que cabría esperar si el suelo se recargara desde los niveles superiores, es producto de una mayor extracción del agua que va percolando debido a la cantidad y actividad de la biomasa radical que comienza a desarrollarse en los niveles superiores del perfil. Como nuestras mediciones reflejan la dinámica hídrica cada 15 días, tiempo suficiente para el restablecimiento de la biomasa subterránea, la mayor cantidad de agua acumulada a 120 cm se debería a una menor explotación de este recurso hídrico por las raíces y no a un aporte hídrico indirecto desde el nivel freático.

Si comparamos ahora el comportamiento del agua en el suelo en los dos agroecosistemas (Figura 6), considerando los tres niveles inferiores donde las menores oscilaciones permiten



**FIGURA 6.** Comparación de los contenidos relativos de humedad en los mismos horizontes del suelo bajo maíz y bajo pasto, durante el primer ciclo agrícola. a) 40 cm; b) 70 cm c) 120 cm. Se indica el momento de la cosecha del maíz. Datos de Acevedo, 1988.

una mejor comparación, puede verse como durante todo el período lluvioso el suelo bajo pasto conserva más agua que el suelo bajo maíz, es decir el cultivo está efectivamente consumiendo más agua que

la pastura. Al finalizar la estación de lluvias, cuando ya el maíz ha sido cosechado y el suelo permanece sin vegetación, el secado es más rápido en la pastura por efecto de la transpiración. Por el contrario, el llenado del suelo al iniciarse la siguiente temporada de lluvias es más rápido bajo suelo desnudo que bajo la pastura, ya que el pasto está perdiendo agua por evapotranspiración y el suelo desnudo solo por evaporación.

La marcha anual de la humedad del suelo en los dos agroecosistemas aparece representada en las Figuras 7 y 8, donde se representan los niveles con igual CRH% en los respectivos perfiles a lo largo de los dos años de mediciones. Se destacan en ambos casos los contrastes estacionales, así como la repartición de la humedad en profundidad en cada período. En las dos parcelas el suelo se secó hasta casi un metro de profundidad durante el período sin lluvias, mientras que permaneció con alta humedad en todo el perfil durante la estación lluviosa. Se evidencia asimismo en estas figuras la menor humedad del suelo durante el período húmedo del año 1987 con respecto al año precedente, reflejo de casi 230 mm menos de precipitación durante este segundo año de mediciones.

### Evaporación y transpiración

Las medidas de evaporación en tanque A no tiene relación con la evaporación real, ya que no dependen del contenido de agua en el suelo sino que miden el poder evaporativo de la atmósfera para una lámina de agua libre. Salvo que el suelo permanezca todo el tiempo por encima de la capacidad de campo, la evapotranspiración real será

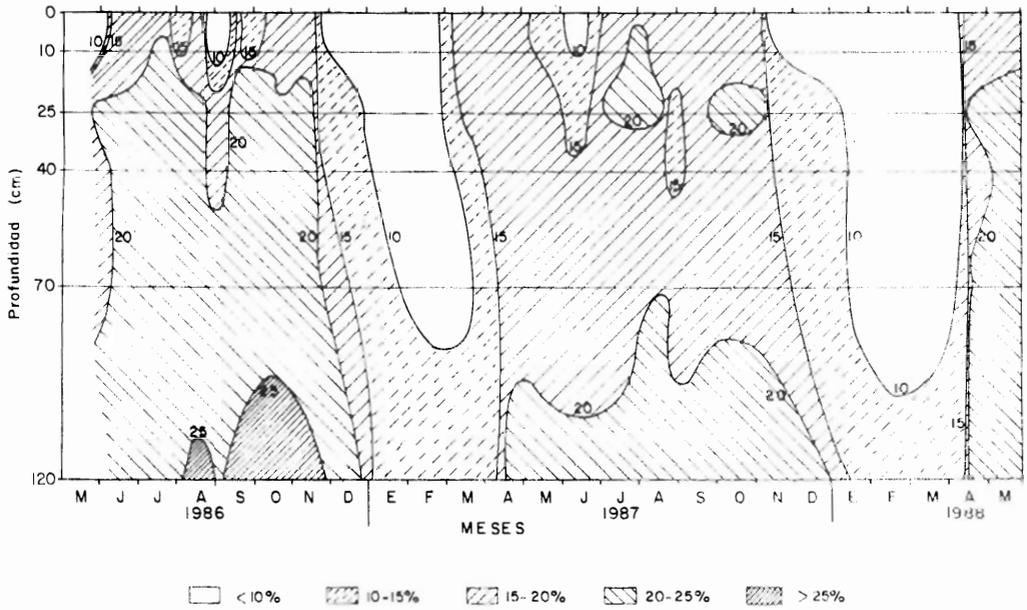


FIGURA 7. Contenido relativo de humedad del suelo en el perfil, en la parcela de *Digitaria decumbens* durante los dos años de mediciones. Las líneas unen los puntos con igual CRH% y las áreas con rayado similar indican rangos de CRH%.

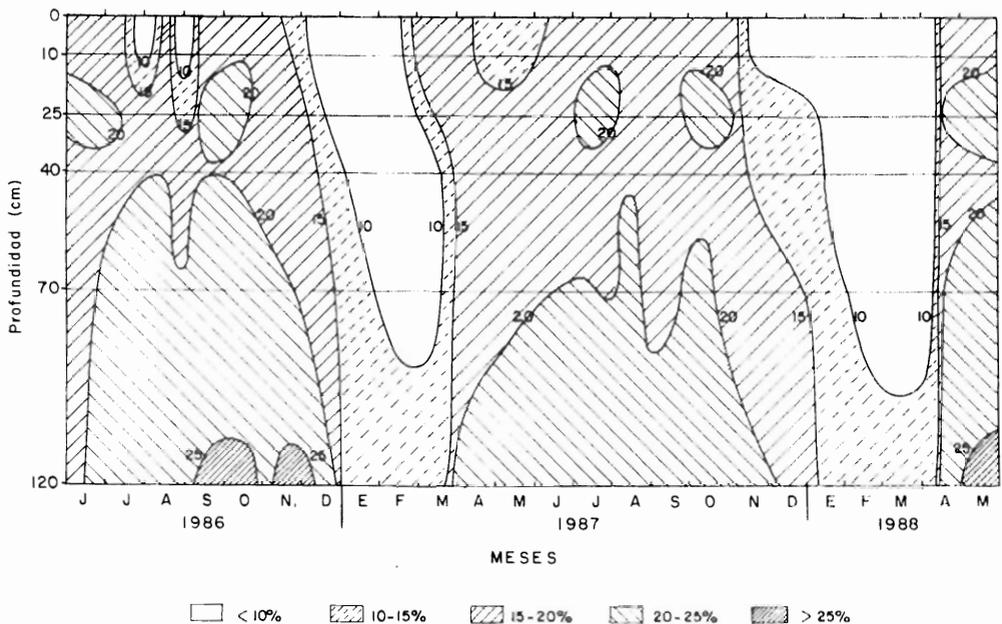


FIGURA 8. Contenido relativo de humedad del suelo en el perfil, en la parcela de maíz durante los dos años de mediciones. Las líneas unen los puntos con igual CRH% y las áreas con rayado similar indican rangos de CRH%.

inferior a la potencial y también esta parece ser inferior a la evaporación desde una lámina de agua. Nuestra medición de evaporación en una columna de suelo desnudo nos indica que por esta vía puede perderse toda el agua útil en los horizontes superficiales antes de cesar la evaporación directa por ruptura de las columnas capilares a medida que se deseca el suelo (Hillel 1971).

Las tasas transpiratorias de las cuatros gramíneas estudiadas alcanzaron en los diferentes ciclos diarios valores comparables o similares a las alcanzadas por otras gramíneas nativas y cultivadas en esta misma área para las dos estaciones climáticas (Goldstein y Sarmiento 1987), con máximos en los días despejados de la estación húmeda entre 7 y 14 mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> (Tabla 2). Además los valores de las otras variables ecofisiológicas medidas fueron coherentes entre si para cada hora o para cada ciclo diario. Desde este punto de vista, las mediciones puntuales aportan información valiosa sobre el comportamiento de estas especies y su economía hídrica. El problema está en la extrapolación desde estos valores puntuales e instantáneos a pérdidas diarias o a pérdidas estacionales o anuales. Calculando en base a nuestros valores puntuales las tasas diarias de transpiración de *D. decumbens*, se obtienen pérdidas transpiratorias de 2,7 a 4,4 L/m<sup>2</sup> de superficie foliar/día. Teniendo en cuenta que la pastura alcanza entre los períodos de corte índices medios de área foliar de alrededor de 3 (Acevedo y Sarmiento 1990), se obtendría por unidad de superficie de terreno pérdidas muy altas, de 7 a 13 mm/día.

La transpiración diaria en el maíz no difiere significativamente de la de *D.*

*decumbens*: 2,2 a 4,4 L/m<sup>2</sup> de superficie foliar, lo que transformado en superficie de terreno, tomando 2 como ISF medio de este cultivo durante su desarrollo, darían pérdidas transpiratorias de 4,4 a 8,8 mm/día.

Es de esperar que al avanzar la estación seca las pérdidas transpiratorias disminuyan, tanto por menores tasas al secarse el suelo, como por ISF mas reducido al incrementarse la senescencia y mortalidad de las hojas. Si tenemos en cuenta que al comenzar la estación seca la transpiración diaria de *D. decumbens* no alcanzaba 3 L/m<sup>2</sup> hoja y que el ISF durante esta estación seca se mantiene alrededor de 2, obtendríamos una transpiración diaria de unos 6 mm.

En Barinas, la evaporación diaria en tanque A varía a lo largo del año entre 3 mm durante los meses de lluvia y 8 mm durante la estación seca. Es decir, la transpiración de la pastura según los cálculos precedentes, superaría durante la estación húmeda la evaporación en tanque A, mientras que lo normal pareciera ser lo inverso. Así en Australia la transpiración en una pastura en verano, sobre un suelo mantenido siempre húmedo alcanzó 5,9 mm/día frente a 6,8 mm/día de evaporación en tanque A (Mc Ilroy y Angus 1964). Nuestros valores relativamente altos, obtenidos extrapolando las tasas transpiratorias instantáneas a tasas diarias pueden deberse a diferentes causas:

1. Limitaciones propias de las mediciones puntuales: las lecturas de tasa transpiratoria se realizaron en 3 hojas desarrolladas expuestas a la radiación solar directa, durante un tiempo que no excedía de 45 segundos, en días despejados o en horas del día cuando no estuviese

lloviendo, debido a las limitaciones prácticas que imponen los porómetros utilizados.

2. Se asume que toda la biomasa foliar tiene la misma tasa transpiratoria. Sin embargo se ha encontrado que la transpiración depende de la edad de la hoja, como lo evidencian los resultados obtenidos en Barinas con *Panicum maximum* (Chacon 1989).

3. Se extrapolaron para la estación lluviosa y la estación seca las tasas transpiratorias medidas durante 2 o 3 ciclos diarios, a pesar de que las tasas sufrirán variaciones en función de la humedad del suelo, la humedad atmosférica, la radiación, etc.

Por otra parte, en investigaciones en marcha en nuestro laboratorio, se encontró que las tasas transpiratorias de árboles y de gramíneas de la sabana estacional en Barinas son significativamente diferentes en hojas expuestas al sol o en hojas sombreadas. Estas últimas presentaron valores hasta cuatro veces por debajo de aquellas (Rada, comunicación personal).

Las hojas que se encuentran a la sombra están sometidas a demandas evaporativas menores (menor DPV, menor radiación, menores temperaturas foliares y mayor humedad relativa), es decir su microclima difiere del de las hojas expuestas plenamente a la radiación solar directa. Además las hojas de sombra son en general las más viejas, lo que sumado a las condiciones microclimáticas, provocan la senescencia particularmente de aquellas hojas más próximas a la superficie del suelo.

Durante la estación seca las tasas transpiratorias irán disminuyendo a medida que el suelo se va secando. Nuestro ciclo diario correspondiente a la

época seca fue medido a finales de noviembre, cuando este período de estrés hídrico recién comenzaba, el suelo aún tenía agua disponible (Acevedo y Sarmiento 1990) y por lo tanto la transpiración se mantenía relativamente alta.

Observaciones de campo de la estructura del pastizal de *D. decumbens* nos indican que cerca del 90% de la superficie foliar se encuentra normalmente bajo condiciones de autosombreado, de modo que solo una pequeña parte de la biomasa transpiratoria está en cada momento expuesta a condiciones de alta radiación y alta demanda evaporativa. Recalculando los flujos transpiratorios en base a estos valores de exposición a sol y sombra, teniendo en cuenta que el 90% de la superficie foliar transpira a tasas cuatro veces menores que las medidas en hojas expuestas a pleno sol, obtenemos valores para ambas gramíneas y para las dos estaciones, del orden de 4 a 7 mm/día por unidad de superficie de terreno. Estos valores son similares a los obtenidos por nosotros mediante diferencia en los balances hídricos de los respectivos ecosistemas (Sarmiento y Acevedo, en prep., Acevedo 1988), lo que sugiere que las hipótesis precedentes pueden acercarse al comportamiento real de las plantas en las condiciones de campo.

En parcelas experimentales de *D. decumbens* la evapotranspiración, calculada por diferencia, osciló entre 3,4 y 8,4 mm/día, con los valores más altos durante la estación seca, pero con riego (Novoa et al. 1984). Los valores calculados por nosotros están dentro de este rango. De todos modos podemos concluir señalando las dificultades que se encuentran para determinar las pérdidas por

evapotranspiración de un ecosistema mediante mediciones instantáneas de las tasas transpiratorias. Posiblemente el método indirecto, por diferencia a partir de mediciones de todos los demás parámetros del balance hídrico, aún resulta más aceptable, ya que estas variaciones se registran de manera continua y no están sometidas a los errores de extrapolación inevitables en los cálculos a partir de datos puntuales en el tiempo y en el espacio.

### AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a los directivos del Jardín Botánico de la UNELLEZ, Ingenieros Cecilia Gomez M. y Freddy Paez por la continua colaboración que nos brindaron a lo largo de todo el trabajo de campo. Oscar Zabala colaboró en las mediciones de transpiración, Mario Fariñas nos asesoró en aspectos estadísticos y David Dugarte ayudó en la toma de datos de humedad del suelo. Dimas Acevedo recibió un subsidio de CONICIT para realizar su tesis y Guillermo Sarmiento obtuvo financiamiento del CDCHT de la Universidad de Los Andes (Proyecto C-288-86). Este estudio forma parte del programa de colaboración científica ULA-ORSTOM.

### BIBLIOGRAFIA

- Acevedo, D.* 1988. Economía hídrica de dos agroecosistemas tropicales: una pastura permanente y un cultivo de maíz. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida.
- Acevedo, D. y Sarmiento, G.* 1990. Intercepción de la lluvia, escorrentía superficial y drenaje profundo en una pastura tropical y un cultivo de maíz en Barinas, Venezuela. *Ecotropicos* 3(1): 12-32.
- Chacón, E.* 1989. 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. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida.
- Goldstein, G. y Sarmiento, G.* 1987. Water relations of trees and grasses and their consequences for the structure of savanna vegetation, p. 13-38 *En: Walker, B.H. (ed.), Determinants of Tropical Savannas*, IRL Press, Oxford.
- Hétier, J.M., Sarmiento, G., Aldana, T., Zuvia, M., Acevedo, D. and Thiéry, J.M.* 1989. The fate of nitrogen under maize and pasture cultivated on an alfisol in the western Llanos savannas, Venezuela. *Plant and Soil* 114: 295-302.
- Hillel, D.* 1971. *Soil and Water. Physical Principles and Processes*. Academic Press, New York.
- Mc Ilroy, I.C. and Angus, D.E.* 1964. Grass, water and soil evaporation at Aspendale. *Agricultural Meteorology* 1:201-224.
- Novoa, L., Key, F. y Pérez, F.* 1984. Evapotranspiración (ETc) en pasto pangola (*Digitaria decumbens* Stent). Informe anual del IPA, Facultad de Agronomía, UCV, Maracay.
- Sarmiento, G.* 1983. The savannas of tropical America, p. 245-288 *En: Bourliere, F. (ed), Ecosystems of the World. 13. Tropical Savannas*, Elsevier, Amsterdam.
- Sokal, R.R. y Rohlf, F.J.* 1980. *Introducción a la Bioestadística*. Ed. Reverté, España.
- Zinck, A. y Stagno, P.* 1966. Estudio Edafológico de la Zona Río Santo Domingo-Río Paguey, Estado Barinas. Guanare, División de Edafología, MOP.