

**DISTRIBUCIÓN DE LA HUMEDAD EDÁFICA EN SISTEMAS
SILVOPASTORILES CON DIFERENTES DENSIDADES
ARBOREAS Y UNA PRADERA TESTIGO**

Distribution of soil moisture in silvopastoral systems with different stand tree densities and a witness meadow.

R. M. Marlats¹, J. W. Lanfranco², E. Baridón²

Recibido en febrero de 1998; aceptado en septiembre de 1998

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue comparar la distribución de la humedad edáfica entre dos sistemas silvopastoriles con diferentes densidades y configuraciones arbóreas y una pradera. El experimento se realizó sobre un Argiudol típico ubicado en La Plata, Buenos Aires, Argentina (34° 55' S; 57° 57' W; 18 m snm). La especie forestal fue *Populus deltoides* Marsh. cv (USA- Cat Fish 2) con 625 y 416 árboles por hectárea y el tapiz herbáceo estuvo constituido por especies indígenas y naturalizadas. Los registros humidimétricos se realizaron durante verano, otoño, invierno y primavera de 1996, con una sonda de neutrones hasta 235 cm de profundidad. La presencia de los árboles en el paisaje modificó la distribución de la humedad edáfica con respecto a la pradera testigo. Esa distribución fue influenciada por el número y la disposición de los árboles y la existencia de condiciones microclimáticas particulares de cada sistema

Palabras Clave: humedad edáfica, sistemas silvopastoriles, densidades arbóreas, pradera testigo

ABSTRACT

The objective of this work was to compare the distribution of soil moisture among two silvopastoral systems with different stand tree densities and configuration and a witness meadow. The trial was realized on a Typic Argiudoll situated in La Plata, Buenos Aires, Argentine (34° 55' S; 57° 57' W; 18 m osl). The forestal specie was *Populus deltoides* Marsh. cv (USA- Cat Fish 2) with a stand density of 625 and 416 trees per hectare and the herbaceous stratum was constituted by indigenous and naturalized species. The moisture registries were realized during summer, autumn, winter and spring of 1996 with a neutron probe till 235 cm of depth. The presence of trees in the landscape modified the soil moisture distribution with respect to the witness meadow. That distribution was influenced by the number and disposition of trees and the existence of particular microclimatic conditions in every one system.

Key words: soil moisture, silvopastoral systems, stand tree density, witness meadow

¹ Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Calle 16 N° 198. 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.

² Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. CC 31. 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.

1. INTRODUCCION

La Pampa Deprimida, Buenos Aires, Argentina, posee deterioros ambientales con manifestaciones de erosión hídrica y eólica de carácter moderado a severo, que cubren estimativamente 8.550.000 ha, las que representan el 28 % del territorio de la provincia (Dominguez y Carballo, 1988). En esta región, la alternancia de períodos críticos de excesos o déficits hídricos condiciona el comportamiento de las comunidades vegetales. La situación hidrológica es difícil de resolver dada la complejidad de la fisiografía del paisaje, caracterizada por una red de drenaje superficial insuficiente, producto de la reducida energía morfogénica y a la frecuente presencia de suelos con fuerte cambio textural (Tricart, 1973). Según INTA (1980) el 43 % de la superficie posee suelos con horizonte diagnóstico argílico de baja permeabilidad, que provoca una reducida capacidad de infiltración y una impedancia mecánica a la penetración de las raíces, otro 20 % posee horizonte diagnóstico nátrico, que a las limitaciones anteriores, suma alcalinidad, toxicidad sódica, dispersión de la materia orgánica y masificación de la estructura. De acuerdo con los estudios de Dominguez y Carballo (1988) y de Fuschini Mejía (1988), el lento escurrimiento y la escasa infiltración otorgan gran importancia a la evapotranspiración (ET), pues, el ascenso de la franja capilar o la aparición de zonas saturadas temporalmente originan en el perfil del suelo el fenómeno de recarga rechazada. Cuando ocurre una precipitación en estas condiciones, se producen derrames en manto sobre la superficie del suelo en las zonas bajas del relieve. El agua permanece en la superficie del suelo hasta que se registra un descenso en los niveles freáticos o se evapotranspira y en ese proceso de ET se observó salinización.

Como antecedentes en la búsqueda de soluciones sobre situaciones similares a la planteada, Huber et al. (1985); Hetherington (1987); Grip et al. (1989); Eastham et al. (1990); Aragón et al. (1990); Bari y Schofield (1991), en diferentes estudios, coincidieron en señalar que para los mismos períodos y dentro de una misma región las ET fueron mayores en plantaciones forestales y en Sistemas Silvo Pastoriles (SSP) que en las praderas utilizadas como testigos (PT).

Watson et al, (1984) y Wallace y Picot, (1991) coincidieron en señalar que la evaluación hídrica del efecto de los árboles en el paisaje debería contemplar diferentes densidades y configuraciones de plantaciones arbóreas y sus influencias en el microclima de los SSP. Tomando todos estos conceptos, Lanfranco y Gellatti (1997) expresaron que con ciertas combinaciones de árboles y pasturas, donde los excesos hídricos se asocian a condiciones topográficas deprimidas, los SSP contribuirían a la regulación del movimiento superficial y subsuperficial del agua, limitarían la erosión, la salinización y sodificación.

Atendiendo a lo precedente, se planteó como hipótesis para este trabajo la existencia de diferencias en la dinámica de la distribución de la humedad edáfica en dos SSP y una pradera testigo, y que las mismas se deberían a las influencias de los componentes arbóreos y a la existencia de condiciones microclimáticas particulares para cada uno de ellos. Para su verificación, el objetivo de este trabajo fue determinar la dinámica de la distribución de la humedad edáfica, la precipitación y la velocidad del viento comparadas entre dos SSP con diferentes densidades y configuraciones arbóreas y una pradera testigo.

2. MATERIALES Y METODOS

El experimento se desarrolló en un área demostrativa de 14 ha, ubicada en la Estación Experimental “Julio Hirschhorn” de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina (34° 55' S; 57° 57' W; 34 m snm). El clima según Thornthwaite (1957) corresponde **C Br**, subhúmedo, mesotérmico. La

temperatura media mensual del mes más cálido, enero, fue de 23,5 °C y la del mes más frío, julio, 7 °C. Si bien las precipitaciones oscilan entre los 800 y 1.000 mm/año, concentradas en otoño y primavera, generando un balance hidrológico equilibrado o con ligeros excesos, es manifiesta la sequía estival. La experimentación se desarrolló sobre un mismo suelo, clasificado como Argiudol típico, arcillosa fina, illítica, térmica; fase por pendiente (Soil Survey Staff, 1992). Ubicado en una loma con pendientes inferiores al 1%, comunes en la zona Sur de la Pampa Ondulada y Norte de la Pampa Deprimida (PD), cuyos datos analíticos (Tabla 1) fueron:

Tabla 1. Datos analíticos del suelo del experimento.

Horizonte	Ap	BA	2Bt1	2Bt2	2BC1	2BC2	3BC3
Profundidad [cm]	0-18	18-29	29-50	50-90	90-130	130-170	170-230
Agua útil [mm]	-	29,29	-	162,61	-	38	
Carbono org. [%]	1,33	0,60					
Nit. total [%]	0,18						
Arcilla [% <0,002 mm]	21,3	32,6	49,8	51,8	46,6	38,3	35,8
Limo [% 0,002-0,05 mm]	53,2	45,6	38	36	44,5	48,2	47
Arena [% 0,05-0,1 mm]	22,4	20,0	12,0	12,2	8,9	12,0	15,2
Arena [% 0,1-0,25 mm]	3,1	1,8	0,2	0	0	1,5	2
Arena [% 0,25-0,5 mm]	0	0	0	0	0	0	0
pH agua rel 1:1	5,3	5,8	6,0	6,2	6,5	6,1	6,1
Ca [cmol + / kg]	11,2	17,2	24,5	25,1	25,2	25,1	25,8
Mg [cmol + / kg]	2,1	2,4	4,2	5,1	4,3	4,7	2,9
Na [cmol + / kg]	0,3	0,5	0,9	0,7	1,1	0,7	0,9
K [cmol + / kg]	1,8	1,0	1,8	1,0	0,9	2,0	0,8
Suma de Bases [cmol + / kg]	15,4	21,1	31,4	31,9	31,5	32,6	33,4
CIC [cmol + / kg]	16,2	23,1	33,0	32,4	29,1	27,6	27,0
Saturación de bases [%]	95	91,3	95,1	98	100	100	100

Los tratamientos considerados a los 10 años de edad fueron:

- **SSP 416:** Sistema silvopastoril con una densidad de 416 árboles/ha y configuración rectangular de 2 x 12 m; área basimétrica 17,33 m²/ha.
- **SSP 625:** Sistema silvopastoril con una densidad de 625 árboles/ha y configuración cuadrangular de 4 x 4 m; área basimétrica de 25,26 m²/ha.
- Pradera Testigo (**PT**): sistema ganadero de 3 ha, integrado por una pradera naturalizada, aledaña a los otros tratamientos y de igual caracterización edáfica y climática, compuesta por las mismas especies forrajeras censadas en los SSP.

La especie forestal fue *Populus deltoides* Marsh. cv (USA- Cat Fish 2) y el tapiz herbáceo de todos los casos estuvo dominado por especies indígenas y naturalizadas identificadas como *Bromus catharticus* H.B.K.; *Lolium multiflorum* Lam.; *Paspalum dilatatum* Poir. y *Cynodon dactylon* L..

Durante verano, otoño, invierno y primavera de 1996 se realizaron en cada tratamiento los siguientes registros:

Comparación de la precipitación pluvial.

Se tomaron los datos de precipitación pluvial diaria, durante el período en estudio con cuatro pluviógrafos de cubeta basculante por tratamiento (total 12), en el caso de los SSP se dispusieron en el sector medio intercalar. A los registros pluviométricos por tratamiento obtenidos durante el período de la prueba (12 meses), se les aplicó el análisis de la varianza y el test de comparación de medias de Tukey.

Comparación de la velocidad del viento

Se instalaron anemógrafos de cazoletas (dos por tratamiento) a 2,5 metros de altura. Para el registro de la variable en los SSP, los medidores se instalaron en el medio de los espacios intercalares. Se tomaron 5 lecturas diarias, a las 7, 00; 11,00; 15,00; 19,00 y 21,00 horas. A los registros obtenidos durante el período de la prueba (12 meses), se les aplicó el análisis de la varianza y el test de comparación de medias de Tukey.

Evolución de la distribución de la humedad edáfica.

El registro humidimétrico se realizó estacionalmente con una sonda de neutrones (SOLO NARDEUX 25) en perforaciones encamisadas de aluminio en el suelo de 250 cm de profundidad, ubicadas sistemáticamente, con 16 repeticiones por cada tratamiento. Los valores se tomaron desde los 10 cm de profundidad hasta 235 cm, con intervalos de 10 cm. Teniendo en cuenta que los tratamientos fueron instalados en el mismo individuo suelo, la distribución de humedad edáfica se asimiló a los neutrones termalizados por interacción con los protones presentes en el suelo.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Comparación de la precipitación pluvial.

Tabla 2. Análisis de la varianza entre los registros de precipitación dentro de los SSP 416, SSP 625 y la Pradera Testigo. ($p \leq 0,05$).

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	nivel de significancia
Entre tratamientos	2	1.681,129	840,5644	0,137	0,8737
Dentro de los tratamientos	8	48.969,417	6.121,1771		
Total	10	50.650,545			

Tabla 3. Test de Tukey entre las precipitaciones registradas dentro de los SSP 416, SSP 625 y la Pradera Testigo. ($\alpha \leq 0,05$).

Tratamientos	Precipitación (mm)	Rango
SSP 416	883,33	a
Pradera	858,00	a
SSP 625	853,75	a

Como se observa en las Tabla 2 y 3, no existieron diferencias significativas entre los tres sistemas. Huber et al. (1985) comparando un SSP de *Pinus radiata* tampoco obtuvo diferencias

aunque estos autores incluyeron el escurrimiento fustal que pueden haber disminuido los valores de intercepción. También debe tenerse en cuenta que durante la estación estival los valores en los SSP pudieron estar influidos por la localización de los pluviógrafos, que estuvieron expuestos a una posición de goteo concentrado de ramas y hojas, situación intensificada cuando ocurrieron lluvias intensas acompañadas de fuertes vientos, estas observaciones, coinciden también con las de Huber et al. op. cit. (1985).

Comparación de la velocidad del viento

Tabla 4. Análisis de la varianza entre las velocidades medias del viento registradas dentro de los SSP 416, SSP 625 y la Pradera Testigo. ($p \leq 0,05$).

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	nivel de significancia
Entre tratamientos	2	64,683	32,3415	57,496	0,0171
Dentro de los tratamientos	2	1,125	0,5625		
Total	4	65,808			

Tabla 5. Test de Tukey entre las velocidades medias del viento registradas en los SSP y la Pradera Testigo. ($\alpha \leq 0,05$).

Tratamientos	Velocidad del viento (km/h)	Rango
Pradera	15,30	a
SSP416	8,70	b
SSP 625	7,65	b

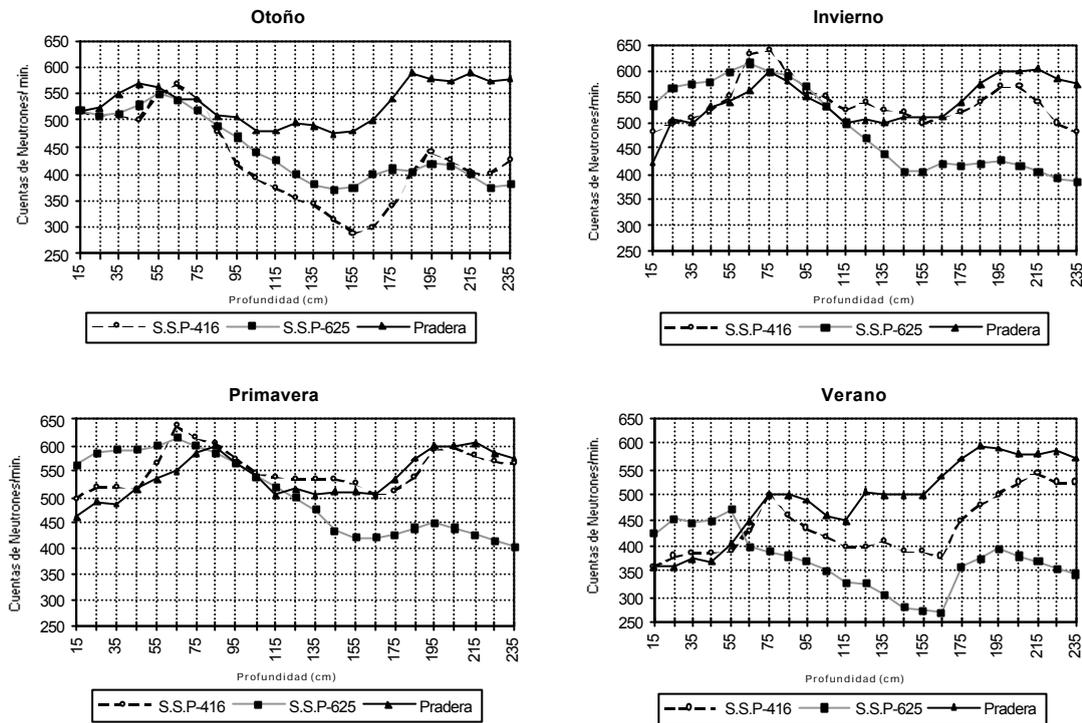
Como se observa en las tablas 4 y 5, existió una significativa disminución de la velocidad del viento bajo los SSP, sin diferencias significativas entre ellos. Según Wallace y Picot (1991) en sus experiencias, esa disminución provocó un descenso de la turbulencia del aire y un menor valor en la ET de la superficie de los SSP, identificando así a una de las causas que llevarían a un registro de mayor humedad superficial en los SSP que en la pradera, efecto que se verá a continuación en los estudios de la evolución de la distribución de la humedad edáfica del presente trabajo.

Evolución de la distribución de la humedad edáfica.

El comportamiento del sistema respondió a la anisotropía que presentó el perfil del suelo observándose variaciones de las condiciones físicas en relación con la profundidad y a la capacidad diferencial de los componentes biológicos instalados en el experimento.

Para facilitar la interpretación de resultados se agruparon los mismos en dos conjuntos que responden a: Conjunto Gráfico 1, referido a la evolución humidimétrica estacional de los SSP 625, SSP 416 y la PT y el Conjunto Gráfico 2, que presenta la recarga y descarga de cada uno de los 3 sistemas.

Gráfico 1. Evolución humidimétrica edáfica estacional en los Sistemas Silvopastoriles y en la Pradera Testigo.



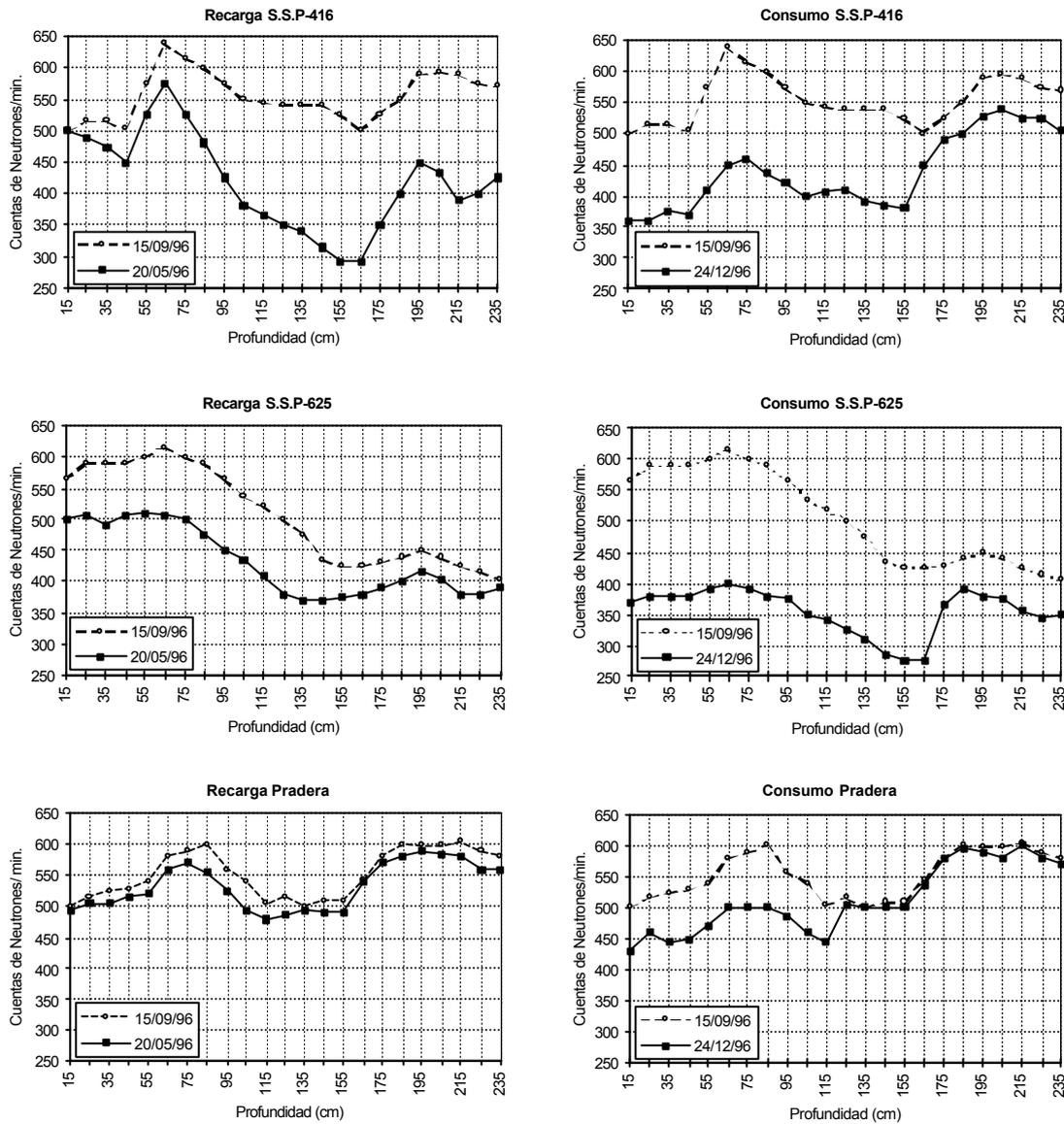
En el Gráfico 1, se visualiza que en general los perfiles humidimétricos se presentaron diferentes en los tres sistemas. En otoño, la PT mostró en los primeros 80 a 90 cm un comportamiento similar a los SSP 416 y SSP 625. Pero, a partir de los 90 cm, a medida que aumentaba la profundidad, comenzó a generarse en los SSP, una creciente disminución de la humedad, produciéndose la mayor diferencia con respecto a la PT en el límite de profundidad de los registros (235 cm). Esta situación se debería a la mayor capacidad de extracción de los árboles de los SSP, que se acentuó en el verano y se expresó como máxima en el otoño. El componente arbóreo ejerció su mayor capacidad extractiva aún a través del horizonte 2Bt2.

En el invierno, la mayor humedad superficial apareció en el SSP 625, asociada a al número y a la distribución homogénea de los árboles y su consecuente cantidad de hojarasca, elementos que pudieron actuar en la retención, protección y regulación hídrica. En el nivel de los horizontes 2Bt2 y 2BC1, los registros fueron similares en los tres sistemas. En profundidad, se observó nuevamente el efecto del número y distribución de los árboles, característica del SSP 625 y su capacidad desecante.

En primavera siguieron prevaleciendo la mayor humedad superficial de los SSP 625. En los horizontes 2Bt2 y 2BC1, los valores fueron similares en los tres sistemas, pero en profundidad persistió la menor humedad de los SSP 625, en tanto la PT y el SSP 416 tuvieron conductas similares.

En el verano, en plena actividad vegetativa, hubo mayor humedad en superficie en el SSP 625, posiblemente, debido al efecto protector de la densidad del canopy arbóreo, nuevamente en los niveles de influencia del horizonte 2Bt2, no se encontraron diferencias y, a partir de esa profundidad, prevaleció el fenómeno de extracción del SSP 625. Hubo un comportamiento intermedio del SSP 416 probablemente debido a su importante proporción de tapiz herbáceo y en la PT apareció la mayor humedad para esa estación.

Gráfico 2. Recarga y consumo de la humedad edáfica en los Sistemas Silvopastoriles y en la Pradera Testigo.



En el Gráfico 2 se ilustra sobre la recarga hídrica de los perfiles de los tres tratamientos. En los primeros 55 cm se observa en el gráfico de recarga del SSP 416 una respuesta similar a la PT, luego, a mayor profundidad, su estado fue intermedio entre la PT y el SSP 625, aunque fue el sistema con mayor capacidad de recarga. En tanto la PT tuvo una menor variación asociada a sus menores incursiones radiculares y el efecto regular de la homogeneidad de su cubierta.

En lo referente al consumo, la mayor acción fue la generada por el SSP 625 en todo el perfil, siempre infiriendo la relación de este fenómeno al mayor número de árboles y su distribución espacial.

La extracción que realizaron los SSP a la máxima profundidad ensayada, indicaron que los mismos fueron capaces de transponer la barrera física que suponen los horizontes Bt. La pradera, en cambio apareció restringida en su extracción en estos horizontes, dado que los valores de recarga hídrica y posterior consumo, variaron muy poco para el período. Aragón et al., (1990), trabajando en un SSP instalado sobre un Argiudol típico, con *Populus x deltoides* cv “Harvard”, hallaron consumo de agua más allá de los 200 cm de profundidad del suelo

De acuerdo a los resultados arribados, los SSP en configuración uniforme y que permitirían también mayor número de árboles por hectárea, serían más efectivos para atenuar problemas hídricos como los de la Pampa Deprimida, pues, extraerían mayor cantidad de agua a profundidades en las cuales las especies forrajeras no son capaces de hacerlo (superiores a 100 cm de profundidad). Hetherington (1987) destacó con varios ejemplos la gran capacidad evapotranspirativa de las masas forestales, que provocaron un rápido decrecimiento de la humedad del suelo. Y como lo señalara Fuschini Mejía (1988), ante el lento escurrimiento y escasa infiltración, la ET sería de vital importancia para el desalojo del agua. Grip et al., (1989) encontraron tasas de evaporación de *Salix viminalis* de 3.4 mm/día, superando entre 10 a 25 % los valores de evaporación de superficies libres, destacando esta propiedad como ventaja de los SSP para la recuperación de zonas inundables. Esto se aplicaría a la situación hidrológica de la Pampa Deprimida descrita por Tricart (1973), donde la complejidad debida a su red de drenaje superficial insuficiente produce reducida energía morfogénica es de difícil superación para el desalojo de los excesos de agua.

El hecho de reemplazar especies forrajeras con enraizamiento dentro de los primeros 100 cm de profundidad del perfil, por especies arbóreas de enraizamiento y efectos más profundos, modificaría significativamente el balance hidrológico, favoreciendo el abatimiento freático (Bari y Schofield 1991). En el proceso de ET se produce la concentración de sales, con la consecuente degradación edáfica, este efecto fue observado en el NO de la PD por Domínguez y Carballo (1988). Ello, aumentaría la importancia de la ET, que permitiría la depresión de la napa y con ello, se alejaría el peligro de salinización del perfil. Incluso de acuerdo a los trabajos de Eastham et al., (1990), el incremento de superficies forestadas permitiría un mejor uso del agua edáfica, mitigando el problema de degradación hídrica.

Watson et al., (1984) propusieron acentuar la evaluación sobre el efecto hídrico de alternativas de densidades de SSP de plantación arbórea en franjas, recomendando estas disposiciones desde el punto de vista lumínico por su influencia sobre la producción forrajera. El conocimiento de estos resultados permitiría armonizar las densidades de mayor trascendencia en la regulación hídrica edáfica compatibles con una producción forrajera capaz de darle sustentabilidad al SSP.

Lanfranco y Gellatti (1997) expresaron que donde los excesos hídricos se asocian a condiciones topográficas deprimidas, el SSP contribuye a la regulación del movimiento superficial y subsuperficial del agua, limitando la erosión, la salinización y sodificación. Estos sistemas ofrecerían una solución biológica y productiva, propiciando el uso íntegro del perfil, disminuyendo el efecto negativo de los cambios texturales abruptos, favoreciendo el proceso de haploidización, la movilización de los nutrientes, el almacenamiento profundo del agua y la potenciación de la ET.

4. CONCLUSIONES

La presencia de los árboles en el paisaje modificó la distribución de la humedad edáfica con respecto a la pradera testigo. En los SSP esa distribución fue influenciada por el número y la disposición de los árboles; demostrando la posibilidad de su utilización para la modificación de la dinámica de flujos en situaciones con excesos estacionales y/o permanentes de agua.

REFERENCIAS

- Aragón, A., P. M Mac Donagh y R. M. Marlats. 1990. Dinámica comparada del agua edáfica bajo bosque y pradera. Análisis de un caso y sus connotaciones regionales. Actas del I Congreso Latinoamericano Internacional de Manejo y Ordenación de Cuencas Hidrográficas. Santiago de Chile. Chile: 290-299.
- Bari, M. A. & N. J. Schofield. 1991. Effects of agroforestry-pasture associations on groundwater level and salinity. *Agroforestry Systems* 16: 13-31.
- Dominguez, O y E. Carballo. 1988. Inundaciones en la Provincia de Buenos Aires, período 1972-1986. Deterioro del Ambiente en la Argentina. FECIC: 326-351.
- Eastham, J., C. W.; D. A. Rose; Charles-Edwards, D. M. Cameron & S. J. Rance. 1990. Planting density effects on water use efficiency of trees and pasture in an agroforestry experiment. New Zealand. *J. Forest Science* 20(1): 39-53.
- Fuschini Mejía, M. E. 1988. Las inundaciones y las sequías. Deterioro del ambiente en la Argentina. FECIC: 352-355.
- Grip H., S. Halldin & A. Lindroth. 1989. Water use by intensively cultivated willow using estimated stomatal parameter values. *Hydrological Processes*. (3):51-63.
- Hetherington, E. D. 1987. The importance of forest in the hydrological regimes. *Canadian Aquatic Resources*. Conn. Forest Service. Victoria. B. C. Canada. Chap. 7:179- 211.
- Huber, A., C. Oyarzún y A. Ellies. 1985. Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* y una pradera. II: Humedad del suelo y evapotranspiración. *Bosque* 6 (2): 74-82.
- INTA. 1980. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires, escala 1:500.000. Actas del IX Congreso de la Asociación Argentina de Ciencia del Suelo, Paraná, Argentina:1079.
- Lanfranco, J. W. y P. R. Gellatti. 1997. Dinámica hídrica en un sistema silvopastoril. 1. Lamina de lavado lateral en subsistemas arbol y pradera. Congreso Argentino y Latino Americano de Producción Animal: 77-79.
- Soil Survey Staff. 1992. Keys to soil taxonomy. SMSS Monograph 5, 541 p.
- Thornthwaite, C. W. & Mather, J. R. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in Climatology*, 10 (3), Institute of Technology. Centerton, New Jersey. 85-311.
- Tricart, J. 1973. Geomorfología de la Pampa deprimida. INTA XII. Bueno Aires. Argentina. 77pp.
- Wallace, D. J. & J. J. C. Picot. 1991. A comparison of two lagrangian dispersion models applied to forest canopies. *Agricultural and Forest Meteorology* (53): 337-346.
- Watson, V. H.; H. A. Pearson; W. E. Knight. & C. Hagedorn. 1984. Cool season forage for use in pine forests. in agroforestry In the southern United States. Ed. Linnartz. N.E and Johnson, M.K.: 79-89.

