

XXIV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
PUNTA DEL ESTE, URUGUAY, NOVIEMBRE 2010

COMPARACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO EN DOS MICROCUENCAS
(PASTURAS-PLANTACIÓN DE EUCALYPTUS) DEL URUGUAY

*Luis Silveira¹⁾, Magdalena Crisci¹⁾, Jimena Alonso¹⁾, Leticia Martínez²⁾, Santiago Symonds¹⁾,
Christian Chreties¹⁾*

¹⁾ Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFLA), Facultad de Ingeniería, Universidad de la República ²⁾ Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República
lesy@fing.edu.uy; mcrisci@fing.edu.uy; jalonso@fing.edu.uy; lmartinez@fagro.edu.uy; ssymonds@fing.edu.uy; chreties@fing.edu.uy

RESUMEN:

Uruguay ha estimulado el desarrollo del sector forestal desde la promulgación de la "Ley Forestal N° 15.939, en diciembre de 1987. Este trabajo tiene por propósito presentar los primeros balances hídricos en relación a los efectos de la actividad forestal sobre la cantidad del recurso agua, medidos como impacto relativo a las pasturas naturales para uso ganadero, obtenidos en el marco de un programa de investigación y monitoreo, que llevan adelante las Facultades de Agronomía e Ingeniería, de la Universidad de la República. Los resultados que aquí se documentan provienen de tres años de monitoreo, en dos microcuencas experimentales del orden de 100 hectáreas, ubicadas en el Departamento de Paysandú, sometidas a distinto manejo (plantación de *Eucalyptus globulus ssp. Maidennii* – pasturas naturales para uso ganadero). Los datos muestran un decrecimiento del escurrimiento en la microcuenca forestal del orden del 17 a 20% de la lluvia anual y un incremento de la evapotranspiración real de igual orden. Los valores estacionales son variables según la estación, la precipitación caída y su distribución temporal. Los datos corresponden, en su totalidad, a años en que se registraron anomalías de precipitación en comparación con los registros históricos.

ABSTRACT:

Uruguay has stimulated the development of the forest sector since the promulgation of the "Forest Law N° 15939, in December, 1987. The purpose of this work is to make public the first water budgets in relationship to the effects of the forest activity on the quantity of the water resources. The results are measured as impact relative to the natural pastures for cattle use. The data was obtained in the frame of a research and monitoring program carried out by the Faculties of Agronomy and Engineering, at the University of the Republic. The data documented in this paper were achieved during three years, in two experimental microbasins of about 100 hectares, located in Paysandú Department in Uruguay. The microbasins have different soil use management (plantation of *Eucalyptus globulus ssp. Maidennii* - natural pastures for cattle use). The data shows a decrease of the runoff in the forested microbasin of about 17 to 20% of the rainfall and an increase of the real evapotranspiration of about same order. The stational values are variable according to the season, the rainfall and its temporary distribution. The data corresponds entirely to years with rainfall anomalies in comparison with the historical records.

PALABRAS CLAVES: aforestación, impacto, microcuencas

INTRODUCCIÓN

La forestación industrial se desarrolla en Uruguay a partir de la promulgación de la “Ley Forestal N° 15.939, en diciembre de 1987. Desde entonces, el área plantada, principalmente *Eucalyptus* y *Pinus*, en sustitución de pasturas naturales, aumentó exponencialmente año tras año. En 1990 los bosques plantados abarcaban una superficie de 45.000 hectáreas y, en diciembre de 2009 aproximadamente 1.000.000 de hectáreas. Por otra parte, puesto que los suelos definidos como de prioridad forestal abarcan una extensión de 3,6 millones de hectáreas, y que la industria forestal se encuentra en pleno desarrollo, con la instalación de plantas para la producción de pasta de celulosa y aserraderos, se prevé que la superficie plantada continuará creciendo durante los próximos años.

Este cambio del uso de los suelos crea inquietud respecto a la disponibilidad de los recursos hídricos, puesto que existen investigaciones que sostienen que los árboles interceptan más precipitación que las pasturas naturales y, que debido a un sistema de raíces más profundo, transpiran más agua durante los períodos secos, afectando las aguas subterráneas y los recursos de aguas superficiales aguas abajo de las plantaciones, tanto en cantidad como calidad (Bosch, J.M. and Hewlett, J.D., 1982; Calder, 1992, 2005; Huber & Iroumé, 2001; Lima, 1992; Andréassian and Vazken, 2004; Lima e Sakia, 2006).

A nivel internacional existen numerosos programas de investigación y monitoreo de los efectos hidrológicos resultantes de los cambios de uso de la tierra. No obstante, se requiere información nacional que tome en cuenta entre otros, el clima local y, en particular, la variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones, así como el tipo y uso de suelos, y las formaciones hidrogeológicas. Para dar respuesta a esa necesidad, la Universidad de la República, a través de las Facultades de Agronomía e Ingeniería, estableció un programa de investigación y monitoreo en cuencas hidrográficas y parcelas experimentales, que tiene por propósito obtener indicadores sobre los cambios del ciclo hidrológico, producto de esta modificación del uso de los suelos, que sustenten la toma de decisiones políticas, para propender a un Manejo Forestal Sustentable (Silveira et al., 2006).

OBJETIVO

Este trabajo tiene por propósito, presentar resultados correspondientes a tres años del citado programa de monitoreo e investigación, en lo que concierne a la comparación de los términos del balance hídrico en dos microcuencas sometidas a distinto manejo (plantación de *Eucalyptus globulus ssp. Maidennii* – pasturas naturales para uso ganadero).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

Las microcuencas experimentales se ubican en el departamento de Paysandú, siendo su acceso por el Km 48,500 de ruta 90, que une las ciudades de Paysandú y Guichón, a la altura de Piedras Coloradas. La microcuenca forestal está situada en el predio Don Tomás y la microcuenca cubierta por pasturas naturales está situada en el predio La Cantera, según se observa en la Figura 1. Sus cauces principales son la Cañada Baigorria y la cañada de la Quinta, respectivamente. Ambos cauces son afluentes del Arroyo Capilla Vieja en su margen izquierda.

Las características geomorfológicas y de distribución de los suelos en ambas microcuencas son muy semejantes, lo que aporta validez a la metodología de estudio seleccionada, en la cual éstas serán utilizadas como elementos de comparación frente a diferentes usos de los suelos.

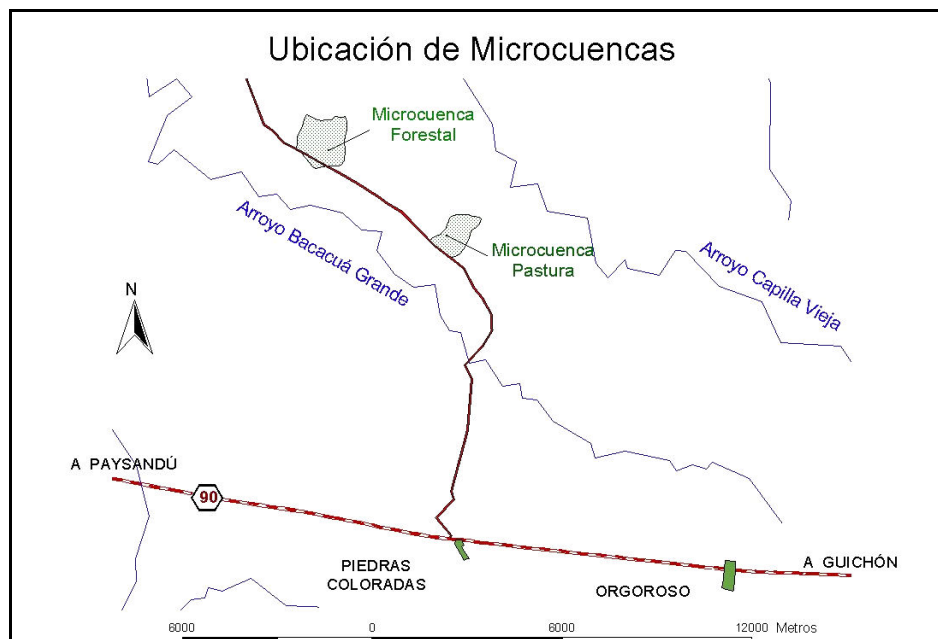


Figura 1.- Ubicación de las microcuencas

Los materiales generadores son sedimentos cretácicos con relieve escarpado y valles disectados, formando lomadas fuertes y suaves. Se visualizan varios niveles de escarpas, un nivel superior con alto contenido de material calcáreo que actúa como generador de los suelos de la superficie aplanada del interfluvio en la cabecera de ambas microcuencas. Los suelos dominantes son vérticos, de profundidad variable, desarrollados sobre la escarpa calcárea. La vegetación es de parque de algarrobos (*Prosopis sp*) con gramíneas de ciclo invernal. Por debajo de esta primera escarpa se encuentran suelos arenosos pardos de profundidad variable con gran diferenciación textural entre los horizontes superficiales y los subsuperficiales, que se clasifican como Brunosoles Subeutricos (dísticos) lúvicos. En las lomadas más suaves, asociadas a las vías de drenaje, se encuentran también suelos arenosos pero de color oscuro, más profundos y de menor diferenciación textural.

La Tabla 1 muestra los valores de los principales parámetros físicos de las microcuencas.

Tabla 1.- Parámetros de las microcuencas

Parámetros físicos	Don Tomás (microcuenca forestal)	La Cantera (microcuenca pasturas)
Área [km ²]	2,12	1,20
Perímetro [km]	5,81	4,58
Longitud del cauce principal [m]	1783	2168
Pendiente del cauce principal (%)	0,90	1,58
Pendiente de la microcuenca (%)	4,68	5,92
Tiempo de concentración [min]	39,0	36,5

La plantación de *Eucaliptus* es del tipo *globulus sp. maidenni* implantada en el otoño-primavera del año 1998, con una densidad de 895 árboles/há.

Metodología del Programa de Monitoreo

La cantidad de agua de lluvia que llega a la superficie del terreno depende, fundamentalmente, del tipo y densidad de la cubierta vegetal. En particular, las plantaciones forestales inciden en una transformación de la precipitación incidente, conocida como redistribución (Rutter et al., 1971; Huber and Iroumé, 2001). De la precipitación incidente (P) que ingresa a un ecosistema forestal, una parte es retenida por las copas y troncos de los árboles, constituyendo la interceptación del dosel

(Ic), que básicamente retorna a la atmósfera por evaporación (E). Una fracción de la precipitación atraviesa las copas de los árboles, a través de claros o por goteo, y llega al suelo constituyendo la precipitación directa (Pd). Una última fracción escurre por las hojas y ramas hasta alcanzar el tronco principal, y luego escurre por su superficie hasta llegar al suelo, constituyendo el escurrimiento fustal (Pf). La fracción de la precipitación que llega al suelo está constituida por la suma de la precipitación directa y el escurrimiento fustal (Pd + Pf). De está, una parte infiltra y, medida sobre un determinado período de tiempo, constituye la variación mensual del contenido de agua en el suelo (ΔH), la parte que no es retenida por el suelo, percola en profundidad (Perc), y otra parte escurre (Q) o retorna a la atmósfera por evapotranspiración (ET).

El balance hídrico, planteado en términos mensuales, expresado en mm/mes, se ajusta, por lo tanto, a la siguiente ecuación:

$$P(\text{mm / mes}) = Q + \Delta H + \text{Perc} + \text{ETR} \quad [1]$$

donde:

P = precipitación mensual incidente sobre la microcuenca

Q = escurrimiento mensual medido en el punto de cierre de la microcuenca

ΔH = variación mensual del contenido de agua en el suelo

Perc = percolación

ETR = evapotranspiración mensual real en la microcuenca

Las tres primeras variables en la ecuación (P, Q y ΔH) corresponden a datos monitoreados en la microcuenca, según se describe a continuación.

Precipitación

La precipitación incidente sobre la microcuenca forestal se registra de forma continua, en un pluviógrafo digital marca Rainwise, que posee una autonomía superior al mes para el almacenamiento de datos, instalado en un claro en la zona central de la microcuenca. Puesto que en estudios anteriores se ha comprobado que los vientos introducen un término de error en los registros (Silveira et. al, 2006), también se instaló una estación meteorológica, que registra velocidad y dirección de viento, datos estos que se utilizan para corregir la precipitación.

Por otra parte, dado que la distancia entre baricentros de las microcuencas es de 5 km, en la microcuenca cubierta por pastura natural se dispone de otro pluviógrafo para el registro de la precipitación incidente sobre la misma.

Escurrecimiento

En el punto de cierre de cada una de las microcuencas se instalaron vertederos triangulares, con una abertura de 100°, provistos de sus respectivos limnigrafos de boya marca OTT. Las obras realizadas fueron de bajo costo, acorde al presupuesto disponible. Por lo tanto, el caudal máximo de funcionamiento de estos vertederos corresponde a eventos extremos de aproximadamente 1,2 años de período de retorno, lo que permite medir con buena confiabilidad un porcentaje elevado de valores de caudal a lo largo del año. Para niveles superiores al máximo registrable por dichas estructuras de aforo, se estimó una curva de descarga H-Q, en base a la modelación hidrodinámica de ambas cañadas, para lo que se contó con un segundo vertedero, también provisto con un limnógrafo, ubicado aguas arriba del punto de cierre de cada microcuenca, a una distancia tal que permite observar una diferencia de caudal significativa entre ambos vertederos. La Figura 2 muestra uno de estos vertederos.



Figura 2.- Vista, desde aguas abajo, del vertedero triangular de lámina delgada, instalado en el cierre de la microcuenca forestal

A partir de las mediciones de nivel en el cierre de cada microcuenca y las respectivas curvas de aforo resultantes de la modelación hidrodinámica de cada cañada, se obtuvieron los caudales erogados cada cinco minutos y se determinaron los caudales mensuales. Considerando el área de cada microcuenca, éstos se transformaron en caudales específicos, expresados en mm/mes.

Variación del contenido de agua en el suelo

En base a la caracterización de suelos, se seleccionaron los 3 suelos más relevantes, en cuanto a área ocupada (Tabla 2), para el estudio de la evolución en el contenido de agua de los mismos bajo diferente cobertura.

Tabla 2.- Suelos característicos de las microcuencas y el área (%) ocupada por los mismos.

Suelo	% del área de la microcuenca	
	Don Tomas	La Cantera
Argisoles Dístico (Esc K)	30	29
Brunos. Subéut./Vertisoles (IAp LK)	20	31
Brunos. Subéut. Típicos (LcK)	39	32
Total	89	92

El contenido de agua se determinó utilizando la metodología basada en la termalización de neutrones, la cual consiste en la toma de registros de humedad, mediante una sonda de neutrones (marca CPN, modelo 503DR HYDROPROBE con fuente de neutrones de 1.85 GBq (50 mCi) Americio-241: Berilio), para los diferentes suelos que forman parte de las microcuencas. Las medidas se realizan a 15, 30, 50, 70, 90 y 110 cm de profundidad.

En la microcuenca forestal se colocaron tubos de acceso a la sonda de neutrones en puntos representativos de cada tipo de suelo: se seleccionaron 8 sitios de muestreo, en cada uno de los cuales se colocaron tubos en la fila y en la entrefila, lo que determina un total de 16 tubos. En la microcuenca cubierta por pasturas fueron instalados 6 tubos.

Debido a que los perfiles de los diferentes suelos tienen profundidades variables, las estimaciones de contenido de agua se realizaron hasta una profundidad en el perfil de 80 cm, para cada uno de los suelos.

Para la calibración de la sonda se realizaron muestreos de suelos para determinar el contenido de agua mediante el método gravimétrico, obteniendo así una correlación entre estos valores y los

obtenidos por termalización de neutrones, para cada profundidad. Las ecuaciones obtenidas se utilizaron para estimar el contenido de agua volumétrico a las distintas profundidades de suelo.

Percolación

Si bien se han instalado piezómetros, las lecturas de niveles de los primeros dos años y medio son de tipo mensual. Recientemente se han colocado limnógrafos, que permiten registrar las variaciones de niveles de forma continua. No obstante, esta información es escasa aún, por lo que en la determinación del balance hídrico no es posible estimar la percolación mensual. Aceptando que este término es al menos un orden menor que los demás, se desprecia e indirectamente se lo incluye en el término de evapotranspiración. Por lo tanto, la ecuación del balance hídrico se ajusta mediante el cálculo de la evapotranspiración real en las microcuencas.

Evapotranspiración Potencial

La evapotranspiración potencial se calculó a partir de datos medidos, según se explicita a continuación, a efectos de contar con una medida de comparación con la evapotranspiración real resultante del balance hídrico.

La estación meteorológica Rainwise modelo WS-2000, ubicada en la microcuenca forestal, registra en forma continua: precipitación, velocidad y dirección del viento, humedad relativa, temperatura y presión atmosférica. Para completar los datos faltantes de esa estación, se utilizaron los registros de heliofanía (horas de sol) monitoreados en la estación meteorológica de INIA ubicada en la ciudad de Salto, a unos 120 Km de la microcuencas, que son publicados en: <http://www.inia.org.uy/online/site/14378211.php>. La validez de la utilización de estos datos se verificó comprobando la muy buena correlación entre los registros de temperatura obtenidos en la microcuenca forestal y los publicados por INIA. Las horas de brillo solar fueron transformadas en radiación neta utilizando la metodología descrita en la publicación No. 56 de FAO (Allen et al, 1998).

Los registros meteorológicos se utilizaron para calcular la evapotranspiración potencial para ambos cultivos (pastura y *Eucalyptus*) utilizando la ecuación combinada de Penman-Monteith (Monteith, 1965), teniendo en cuenta la resistencia aerodinámica y la resistencia estomática según metodología propuesta por Allen et al (1998).

PROCESAMIENTO DE DATOS

Para la determinación del balance hídrico en las microcuencas Don Tomás (cobertura forestal) y La Cantera (cobertura pastura natural), se utilizó información mensual de: precipitación, humedad del suelo y escorrentía correspondiente al período Octubre de 2006 a Setiembre de 2009.

Precipitación

Con la instrumentación disponible en las microcuencas, se obtuvieron los acumulados mensuales de precipitación. En los casos que alguna serie presentó huecos éstos se completaron utilizando la correlación conocida entre los pluviógrafos de ambas microcuencas.

Escurrimiento

Del análisis de la relación precipitación – escorrentía en la microcuenca La Cantera surge la existencia de un aporte de flujo subterráneo a la cañada, que resulta en un caudal permanente aún en

períodos prolongados con ausencia de precipitación. Por lo tanto, a efectos de poder comparar los resultados del balance hídrico entre ambas microcuencas, se determinó el escurrimiento en La Cantera como la diferencia entre el escurrimiento efectivamente medido en el punto de cierre y el caudal base. Para determinar éste último, se considero el nivel mínimo más frecuente registrado en el período de estudio, que corresponde a 3 cm sobre el vertedero, equivalente a 6 l/s. Con estas consideraciones, se recalcularon los escurrimientos a emplear en la ecuación del balance hídrico.

Variación del contenido de agua en el suelo

El contenido mensual de agua, de cada una de las unidades de suelo, se ponderó por el área que ocupa cada una de ellas, para obtener el contenido total de agua en el suelo en la microcuenca.

Evapotranspiración potencial

En base a la información meteorológica y, considerando el porcentaje de cobertura de cada vegetación en ambas microcuencas, se obtuvo la evapotranspiración potencial media mensual para cada microcuenca.

RESULTADOS

Las Tablas 3 y 4 muestran las distintas componentes del balance hídrico a nivel estacional (Oct-Mar y Abr-Set) y anual (Oct-Set), resultantes de aplicar la ecuación 1, para las microcuencas Don Tomás y La Cantera, respectivamente.

Tabla 3.- Componentes del balance estacional y anual (mm) en la microcuenca Don Tomás (forestal)

Estacional	P	Q	ΔH	ETR	ETP
Oct06-Mar07	1122	142	51	929	1264
Abr07-Set07	423	213	-34	243	518
Oct07-Mar08	613	75	-16	553	1456
Abr08-Set08	326	4	21	301	654
Oct08-Mar09	516	8	-3	511	1702
Abr09-Set09	268	0	9	259	617
Anual	P	Q	ΔH	ETR	ETP
Oct06-Set07	1545	355	8	1182	1782
Oct07-Set08	938	79	-22	882	2110
Oct08-Set09	784	8	-17	794	2319

Tabla 4.- Componentes del balance estacional y anual (mm) en la microcuenca La Cantera (pasturas naturales)

Estacional	P	Q	ΔH	ETR	ETP
Oct06-Mar07	1100	247	112	741	944
Abr07-Set07	408	369	-31	69	343
Oct07-Mar08	615	153	-51	513	991
Abr08-Set08	315	100	68	146	399
Oct08-Mar09	541	103	-1	439	1119
Abr09-Set09	264	64	35	166	390
Anual	P	Q	ΔH	ETR	ETP
Oct06-Set07	1508	616	21	871	1287
Oct07-Set08	929	253	-15	691	1389
Oct08-Set09	806	167	4	635	1510

Las Figuras 3 a 5 muestran la comparación de los balances estacionales en ambas microcuencas, mientras que la Figura 6 muestra los balances anuales.

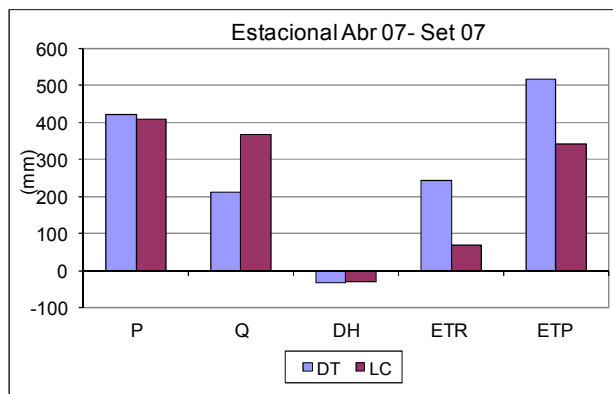
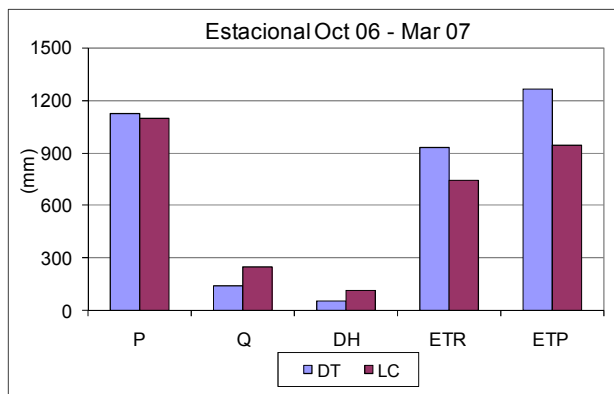


Figura 3.- Balance hídrico estacional Oct 06 – Mar 07 y Abr 07 – Set 07

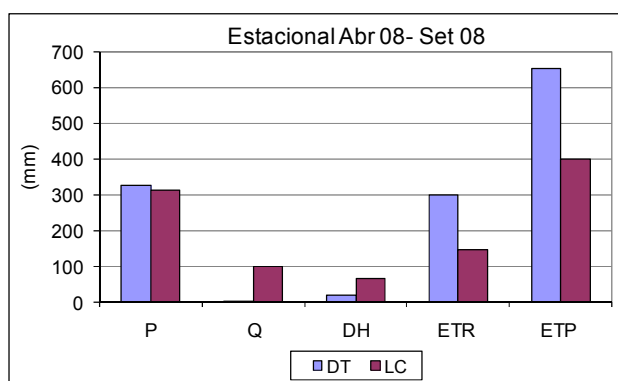
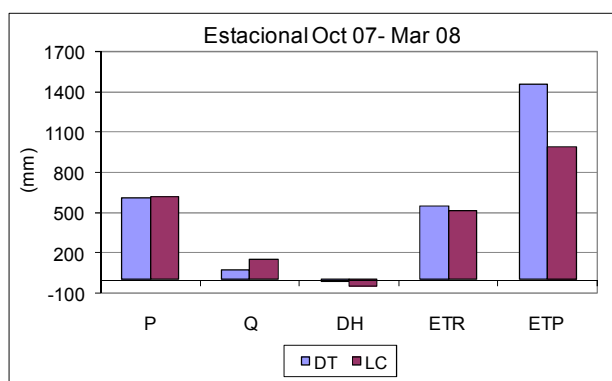


Figura 4.- Balance hídrico estacional Oct 07 – Mar 08 y Abr 08 – Set 08

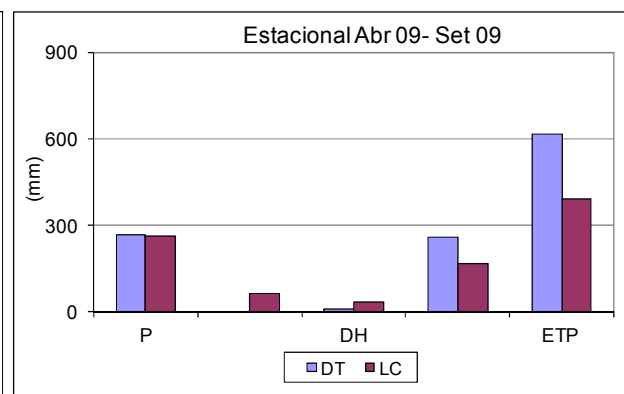
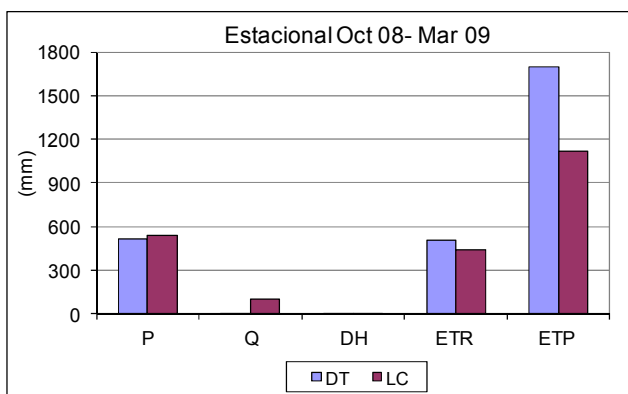


Figura 5.- Balance hídrico estacional Oct 08 – Mar 09 y Abr 09 – Set 09

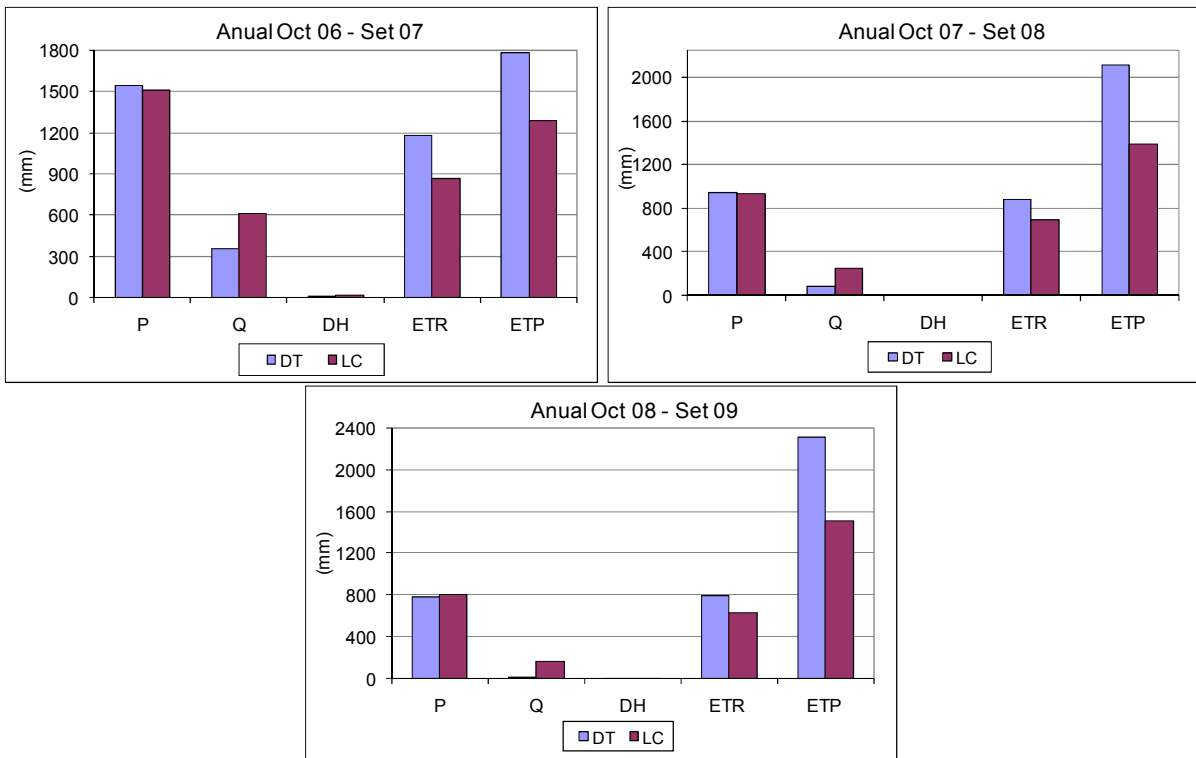


Figura 6.- Balances hídricos anuales Oct 06 – Set 07, Oct 07 – Set 08 y Oct 08 – Set 09

A efectos de interpretar los resultados, en las Figuras 7 y 8 se analizó la disminución de caudales y el aumento de la evapotranspiración real en la microcuenca Don Tomás (forestal), tomando como patrón de comparación la microcuenca La Cantera (pasturas). En el gráfico a la izquierda, se asume que el caudal y la evapotranspiración real representan, en cada estación o en cada año, un 100% para la microcuenca La Cantera, y se calcula el efecto (disminución/aumento) en la microcuenca Don Tomás, relativo a La Cantera. En tanto, en el gráfico a la derecha, se compara el efecto (disminución/aumento) expresando las diferencias en milímetros entre las microcuencas en relación a la precipitación caída en el período (estación o año hidrológico).

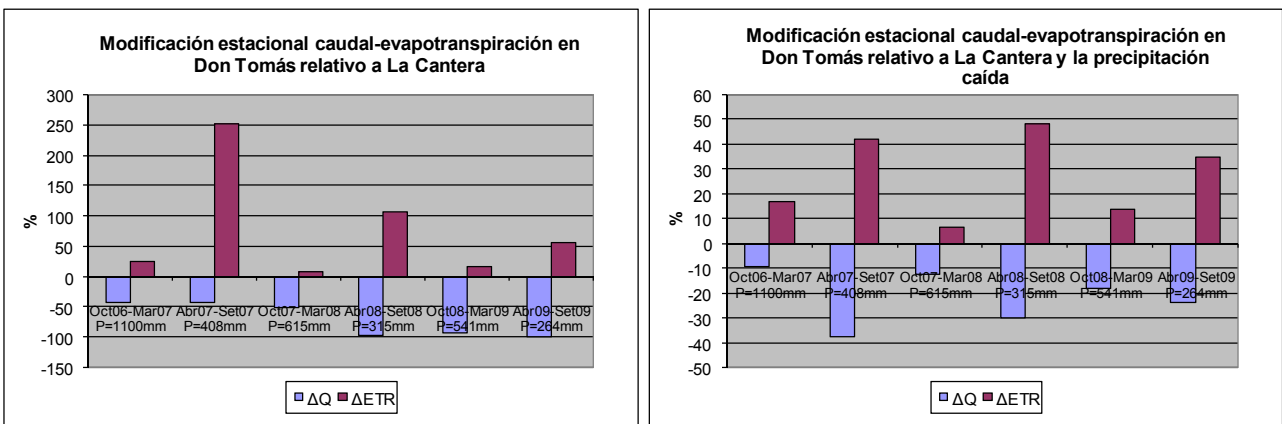


Figura 7.- Modificación estacional caudal- evapotranspiración en la microcuenca Don Tomás (forestal) relativa a La Cantera (pasturas). A la izquierda se asume como patrón de comparación los valores en La Cantera, a la derecha se comparan las diferencias expresadas en milímetros respecto a la lluvia caída

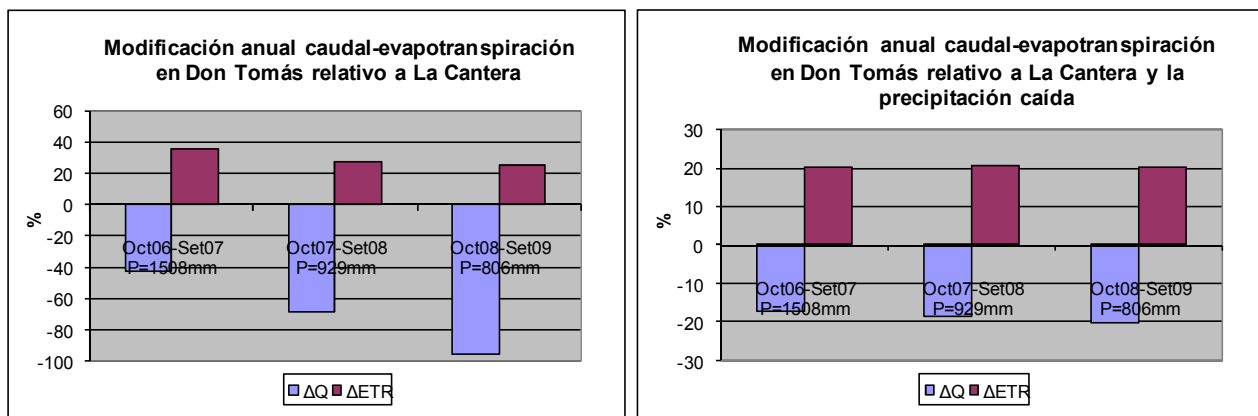


Figura 8.- Modificación estacional caudal- evapotranspiración en la microcuenca Don Tomas (forestal) relativa a La Cantera (pasturas). A la izquierda se asume como patrón de comparación los valores en La Cantera, a la derecha se comparan las diferencias expresadas en milímetros respecto a la lluvia caída

Por último, la Figura 9 muestra el porcentaje que representa la evapotranspiración real (ETR) respecto a la potencial (ETP) para cada microcuenca, tanto a nivel estacional como anual. Se observa que a nivel estacional, la ETR es porcentualmente mayor, en meses de primavera-verano, en la microcuenca La Cantera, cubierta por pasturas para uso ganadero. En tanto, en meses de otoño-invierno la relación se invierte, con la ETR porcentualmente mayor en la microcuenca forestal Don Tomás. En términos anuales, la ETR es porcentualmente mayor en la microcuenca La Cantera.

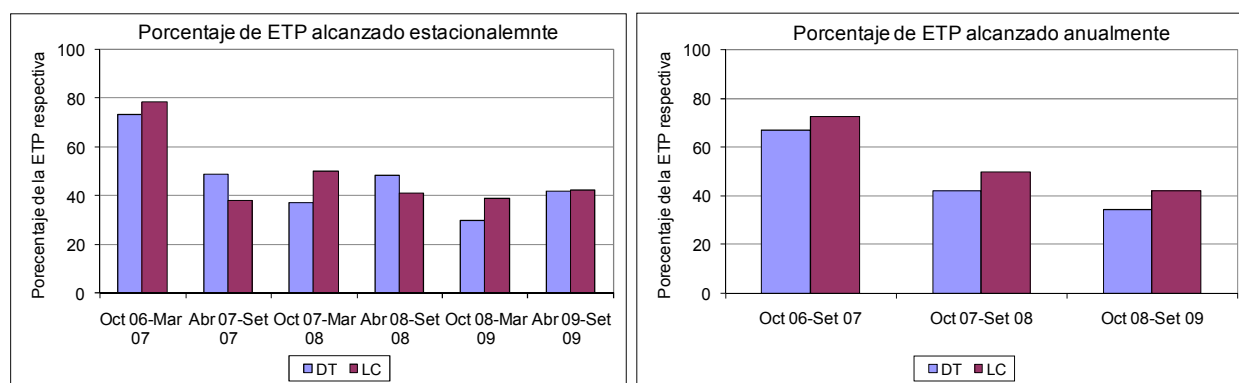


Figura 9.- Comparación ETR-ETP estacional y anual

CONCLUSIONES

El programa de investigación y monitoreo permitió establecer los primeros balances hídricos en el Uruguay, comparando microcuencas con cobertura forestal y pastura natural para uso ganadero.

Estos primeros resultados corresponden, en su totalidad, a años en que se registraron anomalías de precipitación. Particularmente, en los meses de primavera-verano, la lluvia registrada, en promedio, duplicó a la de meses de otoño-invierno. Es decir, que estacionalmente se registraron excesos de precipitación en primavera-verano y déficit hídrico en otoño-invierno, en comparación con los registros históricos. En términos anuales, se observa un decrecimiento del escurrimiento en la microcuenca forestal del orden del 17 a 20% de la lluvia caída. Esta diferencia se expresa en un incremento de igual orden de la evapotranspiración real, que indirectamente también incluye el término de recarga (Perc), puesto que no se dispone de registros continuos de la evolución de la napa freática. Estacionalmente, el decrecimiento del escurrimiento en la microcuenca forestal es muy variable, con rangos entre 10 a 18% de la lluvia caída en meses de primavera-verano y 24 a 38% de la lluvia caída en meses de otoño-invierno.

La satisfacción de la evapotranspiración potencial es mayor, en meses de primavera-verano, en suelos cubiertos por pasturas. Esta relación se invierte en meses de otoño-invierno, donde la satisfacción de la evapotranspiración potencial es mayor en suelos bajo plantación forestal. Si se tiene en cuenta que las precipitaciones fueron anómalas (exceso en meses de primavera-verano y déficit en meses de otoño invierno), esto puede asociarse a una mayor capacidad de los árboles a extraer agua del suelo en situaciones de déficit hídrico. Una limitación de éste estudio refiere a la estimación realizada de la resistencia estomática, a partir de la cual se podría estar sobreestimando el valor de ETP en la forestación y con ello una menor satisfacción de ésta.

AGRADECIMIENTOS

La línea de investigación vinculada a los efectos de las plantaciones forestales sobre los recursos naturales aguas y suelos, se inició por iniciativa de la Dirección General Forestal, del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Posteriormente, se mantuvo con el apoyo de la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) de la Universidad de la República. Actualmente, los estudios que se presentan en este artículo, han sido financiados por el Programa de Desarrollo Tecnológico (PDT) y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).

REFERENCIAS

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M.** (1998). "Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements." *FAO. Irrigation and Drainage Paper, N° 56*. 300 p
- Andréassian and Vazken** (2004) "Waters and forests: from historical controversy to scientific debate". *Journal of Hydrology* 291:1-27.
- Bosch, J.M. and Hewlett, J.D.** (1982) "A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yields and evapotranspiration". *Journal of Hydrology*, 55:3-23.
- Calder, I. R.** (1992) "The hydrological impact of land-use change". In: *Proceedings of the Conference on Priorities for Water Resources Allocation and Management, Natural Resources and Engineer Advisers Conference*, Southampton, July 1992, pp. 91-101.
- Calder, I. R.** (2005) *Blue revolution: Integrated Land and Water Resource Management*. Earthscan, London, UK.
- Huber, A. and Iroumé, A.** (2001) "Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile". *Journal of Hydrology*, 248:78-92.
- Lima, W.P.** (1992) *Impacto ambiental do Eucalipto*. EDUSP – Editora da Universidade de São Paulo, Brasil. 302 pp.
- Lima, W.P. e Sakia, J.B.** (2006) *As florestas plantadas e a água: Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento*. RIMA Editora, 226 pp.
- Monteith, J.L.** (1965) "Evaporation and the Environment", *Symp. Soc. Expl. Biol.*, vol. 19, 205-234.
- Rutter, A.J., Kershaw, K.A., Robins, P.C., Morton, A.J.** (1971). "A predictive model of rainfall interception in forest 1. Derivation of the model from observation in a plantation of Corsican pine." *Agr. Meteorol.* 9, 367-374.
- Silveira, L., Alonso J. y Martínez, L.** (2006) "Efecto de las plantaciones forestales sobre el recurso agua en el Uruguay". *Agrociencia*, Vol. X, N° 2, 75-93.
- Soares, J.V., Almeida, A.C.** (2001) "Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing Eucalyptus plantation in Brazil. *Journal of Hydrology* 253: 130-147.