

**XXI CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
SÃO PEDRO, ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL, OCTUBRE 2004**

**EFFECTO DE LAS PLANTACIONES FORESTALES SOBRE LOS
RECURSOS HÍDRICOS. COMPARACIÓN DE ESTUDIOS EN
MICROCUCENCAS Y MACROCUCENCAS DEL URUGUAY.**

Ing. Luis Silveira, Ph.D.¹, Ing. Jimena Alonso¹, Ing. Agr. Leticia Martínez²

1. Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), J. Herrera y Reissig 565, C.P. 11300 Montevideo, Uruguay. < lesv@fing.edu.uy >
2. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas, Avda. Garzón 780, C.P. 12900 Montevideo, Uruguay.

RESUMEN:

La ley forestal, promulgada en el año 1989, dispuso estímulos para fomentar el desarrollo de este sector en el Uruguay. La sustitución de campo natural para uso ganadero por plantaciones de eucaliptos y pino ha causado preocupación respecto a su impacto sobre los recursos naturales, particularmente aguas y suelos. A fines de los años 90 se emprende por parte de la Dirección General Forestal y la Universidad de la República la instalación de microcuencas experimentales, con superficies entre 70 a 100 hectáreas, con el propósito de obtener indicadores hidroambientales de manejo forestal sustentable. En una segunda etapa, debido a la no linealidad de los procesos hidrológicos, se incorpora el análisis de macrocuencas con superficies superiores a los 1.000 km², con un desarrollo forestal relevante. El presente documento describe los estudios en una macrocuenca de 2.097 km², en la que la superficie forestada abarca 540 km². En particular, detalla la metodología utilizada para medir el efecto de las plantaciones de eucaliptos y pino sobre hidrogramas de tormentas (volúmenes escurridos y caudales máximos), en base a la comparación de eventos registrados en los períodos preforestación (1975-1993) y posforestación (1994-2002). Estos resultados se comparan con los obtenidos en dos microcuencas experimentales ubicadas en la misma región, bajo condiciones hidrológicas similares. Las correlaciones establecidas en base al análisis de hidrogramas de tormentas permiten identificar una marcada reducción de la escorrentía y caudales picos expresados por unidad de área. No obstante, el período de monitoreo en las microcuencas abarca solamente dos años, comprendiendo eventos de lluvia con períodos de retorno bajos, que en mayor medida se ven afectados por la intercepción de las copas de los árboles. Por consiguiente, los resultados constituyen avances de la investigación, que deben manejarse con cautela, sin aventurar conclusiones definitivas, hasta tanto no se cuente con una serie más extensa de datos, que permita abarcar una mayor representatividad de la variabilidad de los eventos de precipitación.

ABSTRACT:

The forest law, promulgated in 1989, promotes the development of the forestry sector in Uruguay. The substitution of natural grasslands for plantations of eucalyptus and pine has caused concern regarding its impact on the natural resources, particularly water and soils. By the end of the 90's, the Government Forest Department and the University of the Republic carried out the installation of experimental micro-basins, with surfaces among 70 to 100 hectares, with the purpose of obtaining hydro-environmental indicators of sustainable forest handling. In a second stage, due to the non linearity of the hydrological processes, the analysis of macro-basins with surfaces greater than 1.000 km² and an outstanding forestry development were incorporated. The present document describes the studies in a macro-basin of 2.097 km², in which the forestry surface is 540 km². The paper details the methodology to measure the effect of the eucalyptus and pine plantations on the storm hydrographs (runoff volumes and peak flows), based on the comparison of measured events before forestation (1975-1993) and after forestation (1994-2002). These results are compared with those obtained in two experimental micro-basins located in the same region, under similar hydrological conditions. The established correlations based on the analysis of storm hydrographs allow identifying a marked reduction of runoff and peak flows by unit area. Nevertheless, the length of monitoring in the micro-basins is only two years, comprising rainfall storms with low return periods, which are affected by the canopy interception. Consequently, the results constitute research advances that should be managed with caution, without risking definitive conclusions until a more extensive data series is available, in order to achieve better representativeness of rainfall variability.

PALABRAS CLAVE: pasturas, eucaliptos, escorrentía

INTRODUCCIÓN

En el Uruguay, el uso tradicional del suelo ha experimentado modificaciones al amparo de la Ley Forestal N° 15.939, resultando en un incremento de la superficie afectada a la actividad forestal, principalmente eucaliptos y pino, que pasó de 45.000 hectáreas en 1990 a 633.000 hectáreas en diciembre de 2002, constituidas por 424.200 hectáreas de plantaciones de eucaliptos y 163.200 hectáreas de pino, mientras que la diferencia corresponde a otras especies. La forestación industrial, en un país agrícola ganadero, donde las plantaciones forestales en gran escala representan para la comunidad y la opinión pública un elemento nuevo en la vida nacional (Lima, 1997), ha creado preocupación en la sociedad y en las instituciones estatales respecto a su impacto sobre los recursos naturales, en particular aguas y suelos. Uruguay participa del Proceso de Montreal (1993), que tiene por propósito realizar el seguimiento de Criterios e Indicadores de Manejo Forestal Sustentable. En este marco, las Facultades de Agronomía e Ingeniería de la Universidad de la República iniciaron en 1999 la ejecución del “Proyecto de instalación de microcuencas experimentales para el estudio del impacto ambiental y monitoreo de programas de forestación con eucaliptos en el Uruguay”, encomendado por la Dirección General Forestal del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP). Entre sus principales logros pueden señalarse los siguientes: i) establecimiento de un programa de investigación y monitoreo ambiental en el ámbito de las plantaciones de eucaliptos a gran escala; ii) instalación de microcuencas experimentales con plantaciones de eucaliptos y sus respectivas microcuencas testigos con campo natural por cobertura vegetal; iii) monitoreo del efecto de las plantaciones forestales sobre el régimen hídrico (cantidad y calidad) y propiedades de los suelos, medido como impacto relativo a la situación natural bajo pastura para uso ganadero; y iv) obtención de información que pueda servir para mejorar las prácticas de manejo forestal y disminuir el impacto ambiental. Los avances de este programa en relación a los efectos sobre los recursos hídricos, fundamentalmente análisis de hidrogramas, volúmenes escurridos y caudales máximos, registrados en microcuencas de 70 a 100 hectáreas de superficie, se encuentran documentados en Silveira et al. (2002). Posteriormente, en Silveira et al. (2003) se amplía la serie de eventos y se incorporan datos de escurrimientos mensuales.

Calder (1992) refiriéndose a los efectos hidrológicos que produce la modificación del uso de los suelos, particularmente forestación y deforestación, analiza las bondades de la metodología utilizada, que se basa en la instrumentación de pares de microcuencas experimentales como herramienta para identificar modificaciones en la respuesta hidrológica y cuantificar estas diferencias. La elección de la microcuenca como unidad de estudio obedece a la necesidad de tener suficiente control sobre los procesos bajo estudio (por ejemplo: uso de suelos, prácticas de laboreo, redistribución de la precipitación incidente por efecto de las copas de los árboles, almacenamiento de agua en el suelo e infiltración, percolación profunda y variaciones de la napa freática, flujo superficial, subsuperficial y subterráneo). No obstante, el autor observa que la principal desventaja de las cuencas experimentales estriba en la dificultad de extrapolar los resultados a otras regiones y/o cuencas mayores. Atendiendo estas consideraciones, y tomando en cuenta que, debido a la no linealidad de los procesos hidrológicos, la información resultante de la unidad de estudio microcuenca no puede extenderse directamente a macrocuencas, con superficies significativamente superiores a la escala que imponen las microcuencas, en el año 2002 se inició la ejecución del proyecto de investigación “Impacto de las plantaciones forestales sobre los recursos hídricos ¿Cómo extender la información de microcuencas experimentales a grandes cuencas?”, financiado por la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC), de la Universidad de la República, en el marco del concurso de proyectos que fuera implementado por el programa de Investigación y Desarrollo. Este proyecto incorpora el análisis de macrocuencas con superficies superiores a los 1.000 km², en las que se ha producido un desarrollo forestal relevante. Los estudios se apoyan en la información histórica existente en el país, fundamentalmente registros de precipitación y caudales observados en la red pluviométrica e hidrométrica y datos en relación a la evolución de las plantaciones forestales.

El presente trabajo documenta los avances alcanzados en el estudio de una macrocuenca de 2.097 km² de extensión, que ha experimentado un fuerte desarrollo forestal durante la década de los años noventa, alcanzando actualmente la superficie forestada una extensión de 540 km², lo que representa un 25,75 % de la superficie total de la macrocuenca. En particular, el trabajo detalla la metodología utilizada para medir el efecto de las plantaciones de eucaliptos y pino sobre la escorrentía, en base a la comparación de eventos registrados en los períodos preforestación y posforestación. Estos resultados se comparan con los obtenidos en un par microcuencas experimentales ubicadas en la misma región, bajo condiciones hidrológicas similares.

AREA DE ESTUDIO

Las microcuencas instrumentadas se ubican en el Departamento de Tacuarembó, Establecimiento “La Abuelita”, al que se accede en el km 363 de la Ruta Nacional N° 5, en la zona centro-norte del país. La macrocuenca está delimitada por el Paso Manuel Díaz, ubicado en el puente sobre el río Tacuarembó, sito en el Km. 480 de la Ruta Nacional N° 5, debido a que es la que presenta la mayor superficie forestada, en el sistema hidrográfico bajo estudio.

En la Tabla I se presentan los parámetros físicos más relevantes y los tiempos de concentración de las dos microcuencas (plantación de eucaliptos y campo natural) y la macrocuenca P° Manuel Díaz, calculados según el método de Kirpich (1940). Asimismo, en las Figuras 1 a 3 se ilustra su ubicación geográfica, forma, topografía y evolución de la superficie forestada, en la macrocuenca P° Manuel Díaz.

Parámetro	Microcuenca forestal	Microcuenca testigo (Campo natural)	Macrocuena P° Manuel Díaz
Área (ha)	68,0	102,7	209.687,3
Pendiente media de la cuenca (%)	9,1	10,7	1,29
Longitud del cauce principal (km)	1,3	1,2	93,8
Pendiente del cauce principal (%)	2,5	2,9	0,08
Tiempo de concentración	20 min.	19 min.	35,3 hs.
Coordenadas del cierre (lat, long)	31° 56', 56° 03'	31° 56', 56° 04'	31° 32', 55° 41'

Tabla I. Parámetros físicos e hidrológicos de las microcuencas experimentales y la macrocuena P° Manuel Díaz

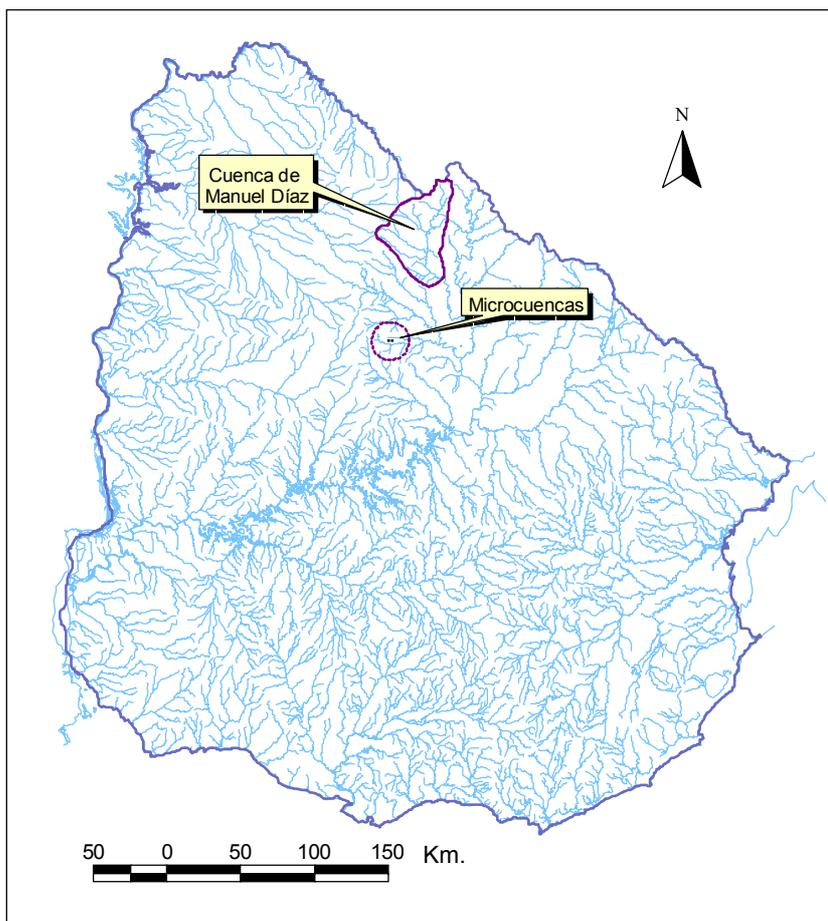


Figura 1. Ubicación geográfica de las microcuencas experimentales y macrocuena P° Manuel Díaz

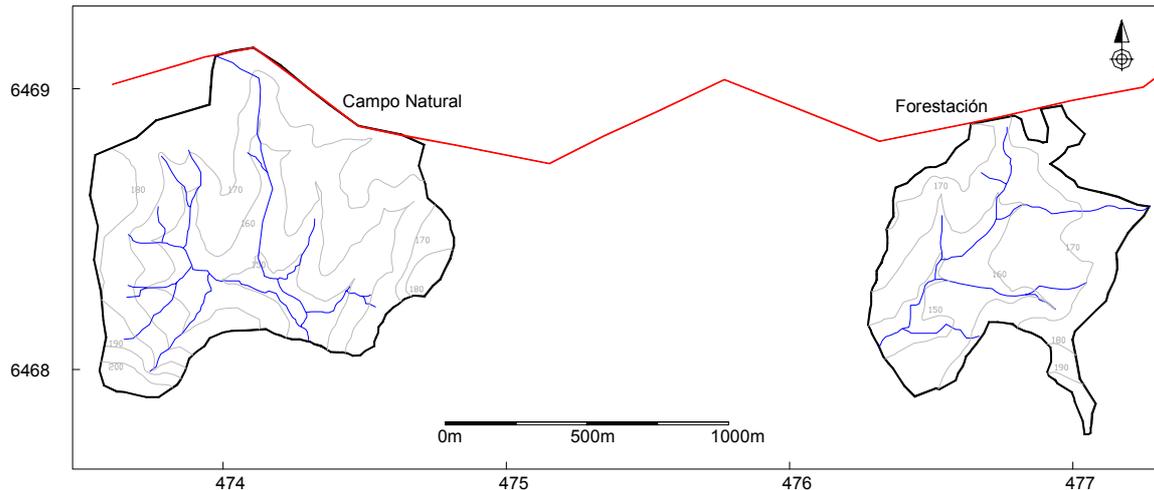


Figura 2. Ubicación y topografía de las microcuencas experimentales

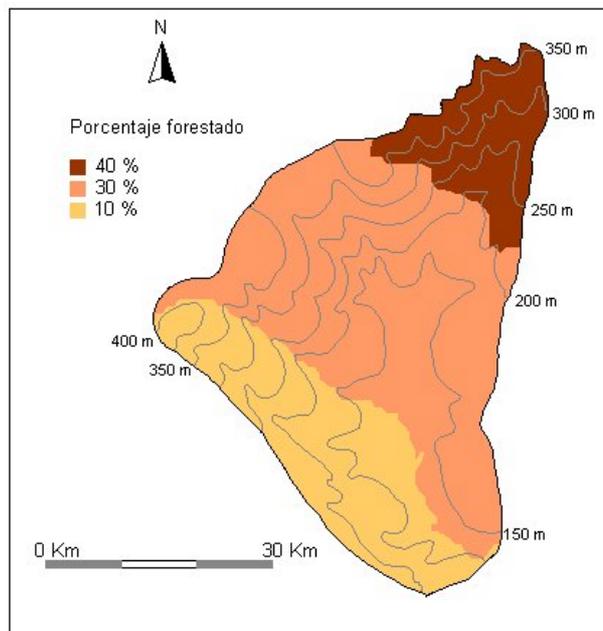


Figura 3. Mapa topográfico y superficie forestada en la macrocuenca P° Manuel Díaz

Los suelos dominantes de las microcuencas están constituidos por Luvisoles y Acrisoles Ócricos e Inceptisoles (Durán, A. et al., 2001), mientras que en la macrocuenca P° Manuel Díaz predominan los Luvisoles y Acrisoles Ócricos (Doti et al., 1979). La geología del área se compone de rocas del Triásico Jurásico asociadas a la Formación Tacuarembó; éstas rocas a su vez están parcialmente recubiertas por lavas de edad Cretácico Inferior, básicas, de la Formación Arapey. La vegetación, como se ha señalado, está constituida por plantaciones forestales de eucaliptos *grandis* en una de las microcuencas y campo natural para uso ganadero en la microcuenca testigo, mientras que en la macrocuenca P° Manuel Díaz la superficie forestada abarca una extensión de 540 Km², que representa el 25,75% de la superficie total de la macrocuenca. En la Figura 3 se muestra la distribución de la forestación sobre la superficie de la macrocuenca y en la Figura 4 se ilustra la evolución anual de la forestación, distinguiendo entre las especies eucaliptos y pino.

En virtud de la extensión de la macrocuenca P° Manuel Díaz, donde pueden coexistir otras modificaciones del uso de los suelos en el período bajo estudio, se analizó la evolución de otros usos del recurso hídrico, principalmente la construcción de embalses y tomas directas para riego. De acuerdo a los anuarios de la Dirección Nacional de Hidrografía sobre “Aprovechamiento de los Recursos Hídricos”, en el año 1992 se construyeron dos embalses para riego de 15 hectáreas de arroz, con un volumen máximo total de 136.000 m³. Las tomas directas, también para riego de arroz, fueron crecientes entre 1984/85 y 1991/92, temporada ésta que se alcanzan 1.093 l/s, para riego de 574 hectáreas, para luego decrecer en forma paulatina hasta la temporada 2001/02, en que las tomas se sitúan en 278 l/s, para riego de 150 hectáreas de arroz. Puesto que la superficie máxima regada no supero los 6 km², o el 0,3% de la superficie de la macrocuenca, situándose actualmente en menos de 2 km², estos usos se consideran insignificantes en comparación con la superficie forestada.

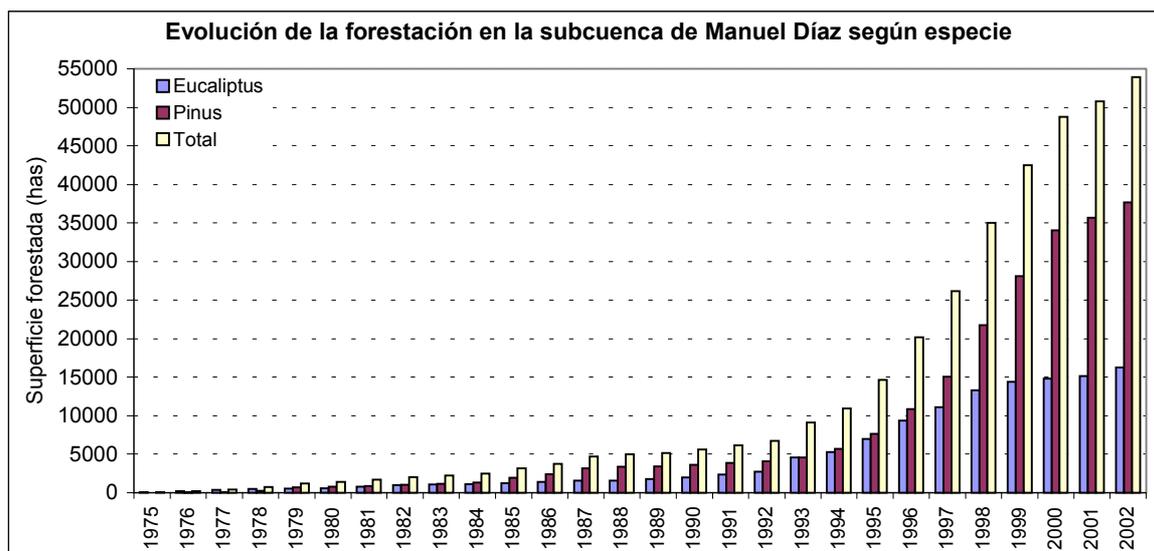


Figura 4. Evolución de la forestación en la macrocuenca P° Manuel Díaz

METODOLOGÍA

Microcuencas

La instrumentación de las microcuencas, para la determinación de la relación precipitación - caudal, consta de: estructuras de cierre similar al cuerpo de una pequeña presa de tierra, provista en la zona central con un vertedero de cresta delgada, de tipo combinado triangular - rectangular, con capacidad para registrar caudales en el rango 0 - 14 m³/s (ver Figura 5); limnigrafos electrónicos de boya; red de pluviómetros; y un pluviógrafo electrónico, éste último ubicado en la estación meteorológica sita en la microcuenca testigo, con campo natural por cobertura vegetal.

Los resultados documentados en Silveira et al. (2002, 2003) se centraron en el análisis de tormentas registradas en el período comprendido entre el 1° de junio de 2000 y el 31 de agosto de 2002, fecha ésta última en que se suspendió momentáneamente el programa de monitoreo. Los datos de altura limnimétrica registrados en cada una de las microcuencas se transformaron a datos de caudal aplicando la relación altura - caudal vertido, determinada en laboratorio mediante la implementación de un modelo físico con el que se calibró la zona de transición entre el vertedero triangular y el vertedero rectangular (Durán, P. et al., 2001). Con esta información, se identificaron las tormentas ocurridas en el período considerado, y se analizó la correlación existente entre caudales máximos y escurrimientos específicos, medidos en la microcuenca forestal y la microcuenca testigo con campo natural, expresados por unidad de área, a efectos de prescindir de las diferencias existentes en superficie entre una microcuenca y otra.



Figura 5. Vista, desde aguas arriba, del cierre ubicado en la microcuenca forestal, constituido por un terraplén provisto con vertedero de lámina delgada, de tipo triangular-rectangular, en su zona central

Macrocuena P° Manuel Díaz

En la macrocuena Manuel Díaz se dispone de medidas diarias de altura limnimétrica, que se transforman a caudal aplicando la curva de aforos obtenida por los servicios oficiales a través de sucesivas campañas de medidas de campo, y datos diarios de precipitación medida en cuatro pluviómetros ubicados en la macrocuena.

De acuerdo a la evolución de la forestación en la macrocuena P° Manuel Díaz, el período de estudio se dividió de la siguiente forma:

- 1975-1993: se considera como sin intervención, en lo que sigue denominado período preforestación.
- 1994-2002: es el período en el cual se observa el mayor aumento de la superficie forestada, en lo que sigue denominado período posforestación.

La diferencia entre los dos períodos se puede observar en la Figura 4, en la que se nota que en el año 1993 se produce un marcado cambio de pendiente en la superficie plantada.

La metodología de trabajo consistió en analizar la serie de caudales medidos en el período 1975 a 2002, procurando identificar parejas de eventos comparables pertenecientes a cada período. Los criterios adoptados para clasificar dos eventos como “comparables” refieren a la coincidencia de las siguientes variables:

- Hidrogramas simples, sin picos múltiples
- Precipitación acumulada del evento
- Distribución en el tiempo de la precipitación del evento
- Precipitación en los 7 o 14 días anteriores al evento
- Condición de humedad de suelo antecedente
- Estacionalidad (Abril-Setiembre, Octubre-Marzo), aceptando una tolerancia de 30 días para la definición de estos límites.

Los eventos que cumplen con estos criterios se identifican en la Tabla 2.

Período 1975-1993					Período 1994-2002				
P acum.	P max. diaria	Fecha Q pico	Q pico (m ³ /s/Km ²)	V esc. (mm)	P acum.	P max. diaria	Fecha Q pico	Q pico (m ³ /s/Km ²)	V esc. (mm)
44	17	14/08/1983	0.04	27	44	31	30/04/1999	0.01	8
63	43	21/10/1983	0.06	40	59	32	05/09/1997	0.04	30
62	41	08/07/1988	0.09	48	59	32	05/09/1997	0.04	30
62	43	21/10/1983	0.09	40	63	54	23/12/2001	0.02	7
81	41	18/09/1977	0.05	36	89	42	08/10/1995	0.04	26
86	27	23/10/1985	0.06	43	119	44	07/05/1995	0.05	39
105	53	11/08/1982	0.15	72	119	44	07/05/1995	0.05	39
105	53	11/08/1982	0.15	72	127	35	22/09/2000	0.09	72
116	33	08/08/1976	0.13	84	119	44	07/05/1995	0.05	39
116	33	08/08/1976	0.13	84	127	35	22/09/2000	0.09	72
350	97	11/05/1993	0.74	287	335	119	24/03/2001	0.38	153

Tabla 2. Eventos comparables en los períodos preforestación y posforestación

RESULTADOS

La Figura 6 muestra que el escurrimiento en la microcuenca forestal se reduce promedialmente en un 64% respecto a la escorrentía en la microcuenca con campo natural. La función objetivo propuesta por Nash y Sutcliffe (1970), coeficiente $R^2 = 0,89$, próximo a uno, indica un buen ajuste entre ambas series de datos. En la misma figura se observa que, el escurrimiento en el período posforestación (1994-2002) disminuye promedialmente en un 43% respecto al período preforestación (1975-1993), en la macrocuenca Manuel Díaz. El correspondiente coeficiente $R^2 = 0,86$, mostrando también en este caso un buen ajuste.

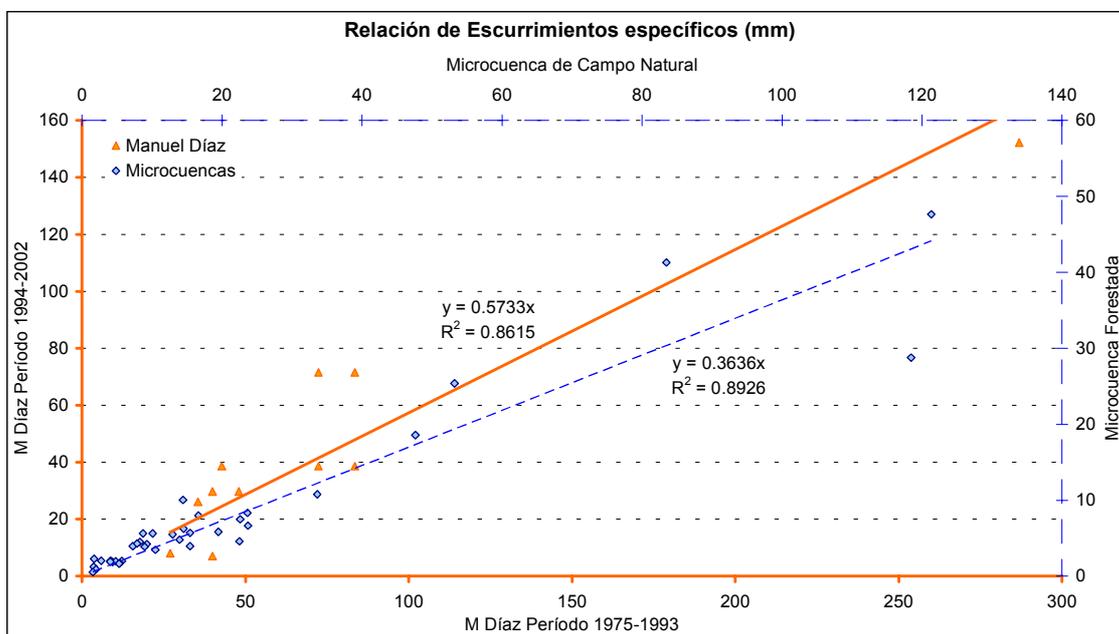


Figura 6. Comparación entre las relaciones obtenidas para escurrimientos específicos mensuales. a) Microcuencas: campo natural y monte de eucaliptos *grandis*, b) Macrocuenca P° M. Díaz: preforestación y posforestación

La Figura 7 expresa la correlación existente entre los correspondientes caudales pico específicos medidos en la microcuenca en campo natural y en monte de eucaliptos *grandis*, expresados en m³/s.km². La correlación lineal que pasa por el origen de coordenadas muestra que los caudales pico específicos en la microcuenca

forestal representan solamente un 22 % del correspondiente caudal pico registrado en la microcuenca en campo natural, representando por lo tanto una reducción de 78 %. También en este caso se obtiene coeficiente un coeficiente $R^2 = 0,74$, que indica un buen ajuste entre ambas series de datos. En la misma figura se observa que, los caudales pico específicos medidos en el período posforestación (1994-2002) disminuyen promedialmente en un 49% respecto al período preforestación (1975-1993), en la macrocuenca Manuel Díaz. El correspondiente coeficiente $R^2 = 0,97$, por lo que también en este caso se obtiene un muy buen ajuste.

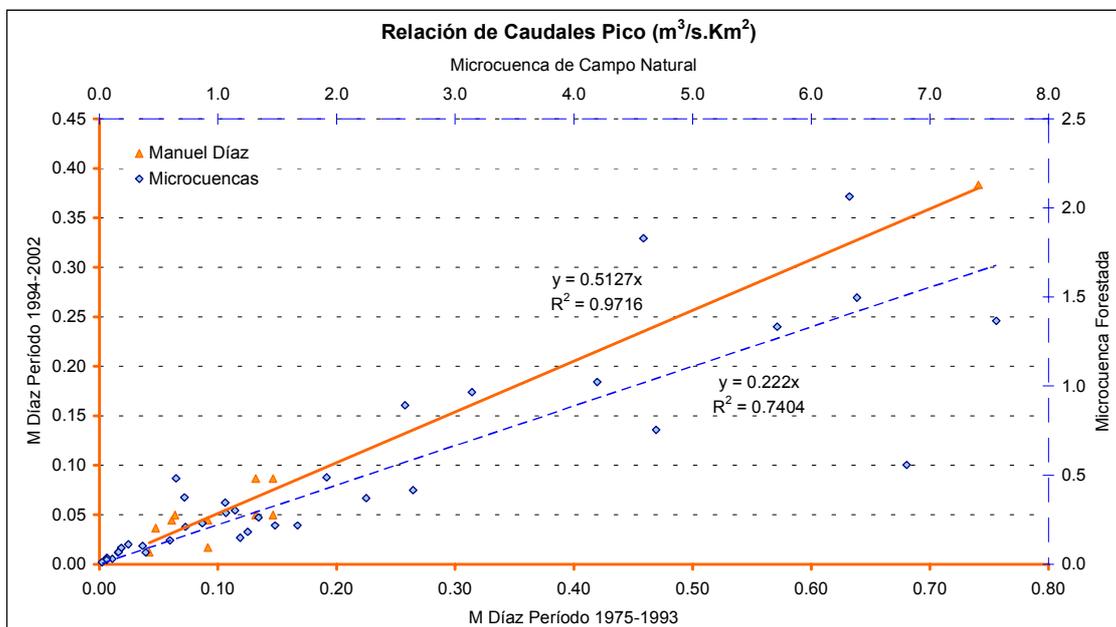


Figura 7. Comparación entre las relaciones obtenidas para caudales pico específicos. a) Microcuencas: campo natural y monte de eucaliptos *grandis*, b) Macrocuenca M. Díaz: preforestación y posforestación

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos al analizar la relación precipitación-caudal, a partir de datos de tormentas medidas, muestran para diferentes escalas espaciales - microcuencas con superficies entre 70 a 100 hectáreas y macrocuenca con una superficie de 2.097 km² - que los caudales pico y volúmenes escurridos se reducen, producto de la sustitución de campo natural para uso ganadero por plantaciones de eucaliptos y pino.

En la etapa actual del proyecto de monitoreo de microcuencas, con los datos disponibles producto de dos años de medidas, comparando los hidrogramas de la microcuenca forestada con eucaliptos *grandis* y la microcuenca con campo natural para uso ganadero, se observa que la escurrida específica se reduce promedialmente en un 64% por efecto de la forestación. El correspondiente índice de reducción para la macrocuenca forestada con eucaliptos y pino, que cubren un 25,75% de la superficie total de la macrocuenca, se sitúa en un 43%, comparando eventos en los períodos preforestación (1975-1993) y posforestación (1994-2002). Los caudales pico específicos asociados a las tormentas analizadas disminuyen en la microcuenca forestal en un 78%, en relación al correspondiente caudal pico registrado en la microcuenca cubierta por pasturas. El correspondiente porcentaje en la macrocuenca, comparando eventos en los períodos preforestación y posforestación, indica que los caudales pico se reducen en un 49%.

En las microcuencas predominan pendientes de cuenca relativamente altas (9,1 y 10,7%), mientras que en la macrocuenca, si bien en la parte alta se observan alturas topográficas entre 300 a 400 metros, al abarcar una superficie superior a los 2.000 km² predomina el efecto de llanura, resultando una pendiente media de 1,3%. Estudios hidrológicos que conciernen áreas relativamente llanas en la zona templada confirman que estas diferencias modifican significativamente el peso relativo de los diferentes procesos hidrológicos que participan de los mecanismos de escurrimiento (Silveira, 1998), lo que dificulta la aplicación de relaciones simples para vincular resultados medidos en estas unidades.

Por otra parte, si bien las correlaciones establecidas en base al análisis de hidrogramas de tormentas permiten percibir una tendencia clara en cuanto a la reducción de la escorrentía específica y caudales pico específicos, la extensión de los datos monitoreados no permite aventurar conclusiones definitivas, hasta tanto no se cuente con una serie más extensa de datos y una mayor representatividad de la variabilidad de los eventos de precipitación. En efecto, las tormentas analizadas en las microcuencas corresponden a eventos de lluvia entre 7 a 64 mm/día, lo que las asocia con períodos de retorno bajos, que son justamente los que en mayor medida se ven afectados por la reducción de los aportes de lluvia a nivel del suelo por el efecto de la intercepción debida a las copas de los árboles (Iroumé y Huber, 2000). Esta precisión es sumamente importante puesto que en la región no son infrecuentes eventos de precipitación que alcanzan o superan los 100 mm/día. En las macrocuencas también puede observarse, Tabla 2, que la lluvia máxima diaria asociada a los eventos varía entre 30 a 50 mm, observándose un único evento en que la precipitación máxima diaria se ubica en el entorno de los 100 mm, por lo que también estos eventos corresponden mayoritariamente a períodos de retorno bajos.

Las conclusiones que puedan extraerse en esta etapa de avance de la investigación están sujetas, por lo tanto, a las limitaciones que impone la información procesada actualmente disponible. Asimismo, el análisis de eventos nada permite concluir respecto a la reducción que puede esperarse sobre los escurrimientos mensuales, estacionales y anuales; puesto que es de esperar que la infiltración en el terreno en cuencas forestales, por el efecto de la redistribución de lluvias, produzca una laminación de los hidrogramas.

La investigación que promueven los autores se orienta actualmente a medir y modelar los efectos de redistribución de lluvia, para posteriormente propagar estos efectos en modelos de precipitación – caudal, como herramienta para realizar previsiones en macrocuencas, a partir de datos de microcuencas, con una clara orientación hacia la gestión integral de los recursos naturales y ordenamiento territorial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Calder, I.R. (1992) Hydrologic effects of land-use change. En el capítulo 13 del Handbook of Hydrology, editado por David R. Maidment. McGraw-Hill, Inc.
- Doti, R., Durán, A., López Taborda, O. (1979) Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Vol. III. Ministerio de Agricultura y Pesca, Montevideo, Uruguay.
- Durán, A., F. García Préchac, M. Pérez Bidegain, M. Friori, L. Sicardi, C. Molteri, y A. Bozzo (2001) “Parte B – Suelos”, en Estudio de Monitoreo Ambiental de Plantaciones Forestales en el Uruguay. Informe Final. Universidad de la República.
- Duran, P., L. Silveira, C. Anido, L. Martínez, A. Chamorro, J.C. González, E. Zanetti, J. Alonso, R. Hayashi (2001) “Parte A – Hidrología”, en Estudio de Monitoreo Ambiental de Plantaciones Forestales en el Uruguay. Informe Final. Universidad de la República.
- Iroumé, A. y A. Huber (2000) Intercepción de las lluvias por la cubierta de bosques y efecto en los caudales de crecida en una cuenca experimental en Malalcahuello, IX Región, Chile. Bosque 21(1): 45-56.
- Kirpich, Z.P. (1940) Time of concentration of small agricultural watersheds, Civ. Eng., vol. 10, No. 6, p. 362.
- Lima, W.P. (1997) Impactos ambientales de los programas de forestación. Forestal (Revista de la Sociedad de Productores Forestales del Uruguay). Segunda época - Año 2 - No. 5, 3-8.
- Nash, J.E. y J.V. Sutcliffe (1970) River flow forecasting through conceptual models. Part I. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10, 282-290.
- Silveira, L. (1998) Hydrological modelling of natural grasslands with small slopes in temperate zones. ISRN KTH/AMI/PHD 1022-SE. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Silveira, L., C. Anido y L. Martínez (2002) Programa de monitoreo y evaluación del impacto de las plantaciones de eucaliptos sobre los recursos hídricos en el Uruguay. XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, La Habana, Cuba.
- Silveira, L., Martínez, L., Alonso, J. (2003) Efecto de la sustitución de campo natural por plantaciones forestales, sobre los recursos hídricos en el Uruguay. Tercer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Arequipa, Perú.