

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

**MODIFICACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA
PRODUCTO DEL DESARROLLO FORESTAL EN UNA MACROCUEENCA
DEL URUGUAY**

Ing. Luis Silveira, Ph.D., Ing. Jimena Alonso

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. < lesy@fing.edu.uy >

RESUMEN:

La ley forestal, promulgada en el año 1989, dispuso estímulos para fomentar el desarrollo de este sector en el Uruguay. El país participa del Proceso de Montreal, que tiene por propósito realizar el seguimiento de Criterios e Indicadores de Manejo Forestal Sustentable. En este marco, 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 la escorrentía, en base a datos diarios de la red de pluviómetros existente en la cuenca y datos diarios de altura limnimétrica, distinguiendo entre comportamiento anual y estacional, en el período preforestación (1975-1993), donde predomina el uso ganadero, y el período posforestación (1994-2002). Los resultados muestran que los coeficientes de escorrentía anual y estacional, asociados a la respectiva precipitación media, tienden a disminuir como consecuencia del desarrollo forestal. La reducción es más significativa en el período Octubre – Marzo, y menor en el período Abril – Setiembre, en que la escorrentía tiende a ser mayor en áreas de llanura, en la zona templada. Como consecuencia, el efecto sobre los coeficientes de escorrentía anual se amortigua. La información resultante constituye un insumo para la gestión integral de los recursos hídricos en la cuenca del río Negro, sistema en el que se identifican usos múltiples: generación hidroeléctrica, riego para plantación de arroz y desarrollo forestal.

ABSTRACT:

The forest law, promulgated in 1989, promotes the development of the forestry sector in Uruguay. The country participates of the Montreal Process which has the goal to follow up a set of Criteria and Indicators that could be used to measure sustainable forest management. According to this frame, the present document describes the studies in a macro-basin of 2.097 km², in which the forestry surface is 540 km². In particular, the paper details the methodology to measure how the eucalyptus and pine plantations modify the runoff. The available information is daily rainfall data measured in a net of raingauges and daily runoff data. The study distinguishes among annual and seasonal behaviour, both for the pre-forestation period (1975-1993), where the cattle use prevail, and for the post-forestation period (1994-2002). The results show that the annual and seasonal runoff coefficients, associated to the respective average rainfall, tend to diminish as consequence of the forestry development. The reduction is more significant during the October-March period, and smaller during the April-September period, due to the fact that the runoff tends to be higher in flatlands areas, in the temperate zone. As consequence, the effect on the annual runoff coefficient is softened. The resulting information constitutes an input for the integral water resources management of the Río Negro basin, a system in which multiple uses are identified: hydroelectric power, irrigation for rice plantation and forestry development.

PALABRAS CLAVE: eucaliptos, escorrentía, gestión

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, ha creado preocupación en la sociedad y en las instituciones estatales respecto a su impacto sobre los recursos naturales, en particular aguas y suelos (Lima, 1997). 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”. 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.

La elección de la microcuenca como unidad de estudio obedece a la necesidad de tener suficiente control sobre los procesos bajo estudio (Calder, 1992). No obstante, su principal desventaja 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. Esta cuenca reviste marcado interés puesto que su cauce principal es uno de los principales afluentes del río Negro, cuenca ésta en la que se genera aproximadamente el 50% de la energía hidroeléctrica del país. En particular, el trabajo detalla la metodología utilizada para obtener indicadores hidrológicos respecto al actual efecto de las plantaciones de eucaliptos y pino sobre la escorrentía, en base a datos diarios de la red de pluviómetros existente en la cuenca y datos diarios de altura limnimétrica, distinguiendo entre comportamiento anual y estacional, en el período preforestación, donde predomina el uso ganadero, y el período posforestación. Los resultados constituyen un insumo para la gestión integral de los recursos hídricos en la cuenca del río Negro, sistema hídrico esencial para el país, en el que se identifican usos múltiples: generación hidroeléctrica, riego para plantación de arroz y desarrollo forestal.

No obstante, el estudio no considera variables como la edad y densidad de las plantaciones forestales, por no disponerse aún de la infraestructura que se requiere para obtener la información básica necesaria en cuanto a su impacto sobre la interceptación y la lluvia neta que llega al suelo. Profundizar los actuales programas de investigación respecto a las consecuencias de las modificaciones del uso de la tierra sobre el régimen hídrico constituye un requisito indispensable para dotar al país de herramientas que le permitan plantearse escenarios alternativos, de mediano y largo plazo, basados en diferentes hipótesis de la demanda hídrica y su distribución entre los demandantes.

AREA DE ESTUDIO

La macrocuenca seleccionada 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. Su cauce principal, el río Tacuarembó, es uno de los principales afluentes del río Negro, sobre el que se localizan tres centrales hidroeléctricas que generan aproximadamente 3.800 GWh (año 2003), que representa alrededor del 50% de la energía hidroeléctrica que se genera en el país. En particular, la central hidroeléctrica Dr. Gabriel Terra, con una potencia instalada de 152 MW, se ubica aguas abajo de la desembocadura del río Tacuarembó en el río Negro.

La selección de esta macrocuenca obedece a que hoy en día es la más forestada, dentro del sistema de subcuencas del río Negro. En efecto, la cuenca tiene una extensión de 2.097 km², tradicionalmente ha predominado el uso ganadero de sus suelos, ovinos y bovinos, experimentando un fuerte desarrollo forestal durante la década de los años noventa, que actualmente abarca una extensión de 540 km², lo que representa un 25,75 % de su superficie.

Su divisoria de aguas consiste en las Cuchillas Negra y Cuchilla de Haedo, con altitudes entre 300 a 400 m s.n.m. Aguas abajo predominan las pendientes suaves, con altitudes entre 150 a 200 m s.n.m. En la Tabla I se presentan los parámetros físicos más relevantes y los tiempos de concentración, calculados según el método de Kirpich (1940). Asimismo, en las Figuras 1 y 2 se ilustra su ubicación geográfica, forma, y topografía.

Parámetro	Macrocuenca P° Manuel Díaz
Área (km ²)	2.097
Pendiente media de la cuenca (%)	1,29
Longitud del cauce principal (km)	93,8
Pendiente del cauce principal (%)	0,08
Tiempo de concentración	35,3 hs.
Coordenadas del cierre (lat, long)	31° 32', 55° 41'

Tabla 1. Parámetros físicos e hidrológicos de la macrocuenca P° Manuel Díaz

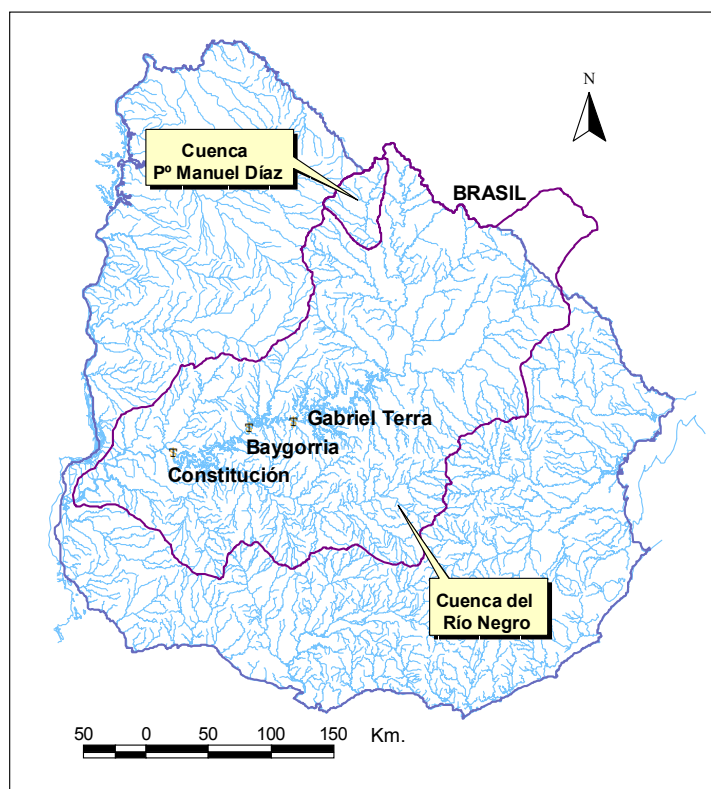


Figura 1. Ubicación geográfica de la macrocuenca P° Manuel Díaz

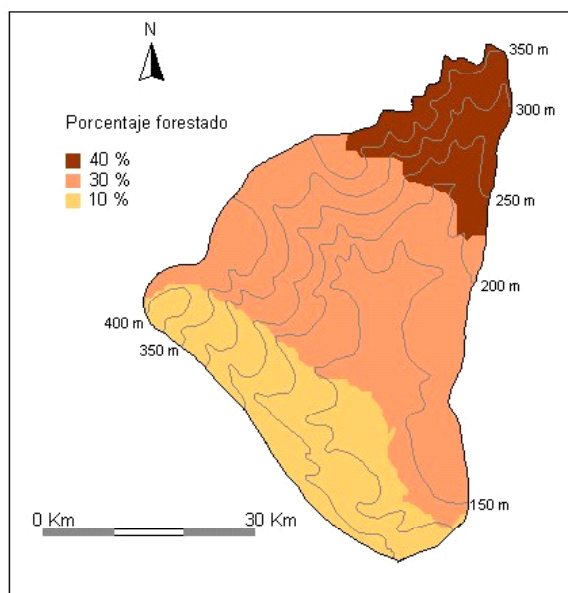


Figura 2. Mapa topográfico y superficie forestada en la macrocuenca P° Manuel Díaz

Los suelos dominantes de la macrocuenca P° Manuel Díaz están constituidos por Luvisoles y Acrisoles Ócricos, que representan un 74% de su superficie, según se ilustra en la Tabla 2 (Doti et al., 1979).

Unidad de Suelo	Área de cuenca (%)	Descripción del suelo dominante
TC	54 %	Luvisoles Ócricos (Melánicos) Típicos/ Álbcicos
Rv	20 %	Acrisoles Ócricos Típicos
RT	12 %	Gleysoles Lúvicos Melánicos Típicos
Ma	9 %	Litosoles Eutricos Melánicos
CH-PT	5 %	Litosoles Eutricos/ Subeutricos Melánicos

Tabla 2. Unidades de suelos en la macrocuenca P° Manuel Díaz

En la Figura 2 se muestra la distribución de la forestación sobre la superficie de la macrocuenca y en la Figura 3 se ilustra la evolución anual de la forestación, distinguiendo entre las especies eucaliptos y pino.

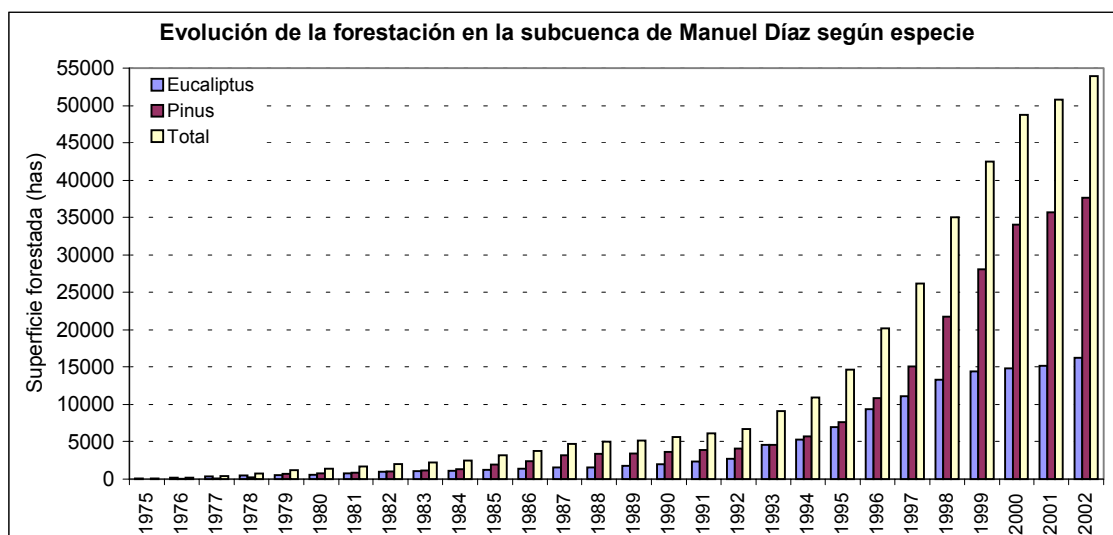


Figura 3. Evolución de la forestación en la macrocuenca P° Manuel Díaz

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.

Año	Embalses		Tomas	
	Volumen máximo (mil m ³)	Hectáreas regadas	Caudal máximo (l/s)	Hectáreas regadas
84/85	0	0	100	50
85/86	0	0	100	60
86/87	0	0	172	86
87/88	0	0	172	86
88/89	0	0	346	172
89/90	0	0	502	246
90/91	0	0	681	339
91/92	136	15	1093	574
93/94	136	15	766	400
94/95	136	15	712	367
95/96	136	15	521	276
96/97	136	15	502	279
97/98	136	15	620	340
98/99	136	15	473	258
99/00	136	15	444	239
2000/01	136	15	278	150
2001/02	136	15	278	150

Tabla 3. Evolución del uso de los recursos hídricos para riego en la macrocuenca P° Manuel Díaz

METODOLOGÍA

En la macrocuenca 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 macrocuenca.

De acuerdo a la evolución de la forestación en la macrocuenca 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 3, en la que se nota que en el año 1993 se produce un marcado cambio de pendiente en la superficie plantada.

La relación precipitación - caudal se analiza mediante la determinación de coeficientes de escorrentía (Ce) asociados a la precipitación acumulada, distinguiendo entre comportamiento anual y estacional. A nivel estacional se consideraron dos períodos: abril – setiembre y octubre – marzo, en base que en áreas relativamente llanas, en la zona templada, se observan a nivel de macrocuencas diferencias significativas en el peso relativo de los diferentes procesos hidrológicos que participan de los mecanismos de escurrimiento (Silveira, 1998). En efecto, en el período abril – setiembre la evaporación es relativamente baja, con lo que se produce una gradual saturación de los suelos, y un incremento de la escorrentía superficial. En cambio, en el período octubre – marzo la evaporación es relativamente alta, con lo que el contenido de humedad de los suelos es bajo, requiriéndose volúmenes de precipitación importantes para producir escurrimientos superficiales significativos.

RESULTADOS

Coefficientes de escorrentía anuales

A partir de la información limnimétrica diaria se calcularon los escurrimientos anuales, y con los datos diarios de pluviómetros se calculó la precipitación media anual por el método de Thiessen, determinándose los coeficientes de escorrentía anuales, según se detalla en la Tabla 4.

Año	P(mm)	Ce	Año	P(mm)	Ce	Año	P(mm)	Ce
1975	1041.5	0.38	1984	1396.2	0.49	1993	1716.8	0.51
1976	1234.3	0.30	1985	1225.9	0.52	1994	1222.5	0.37
1977	1593.0	0.56	1986	1533.1	0.47	1995	1204.6	0.34
1978	960.5	0.50	1987	1540.8	0.46	1996	1237.0	0.35
1979	817.4	0.33	1988	1052.2	0.44	1997	1785.4	0.42
1980	1303.1	0.42	1989	964.4	0.09	1999	1147.5	0.34
1981	1317.1	0.43	1990	1482.2	0.44	2000	1731.0	0.42
1982	1348.1	0.44	1991	1363.7	0.48	2001	2296.6	0.56
1983	1387.3	0.62	1992	1347.3	0.69	2002	2827.6	0.58

Tabla 4. Precipitación y coeficientes de escorrentía anual en la cuenca P° Manuel Díaz

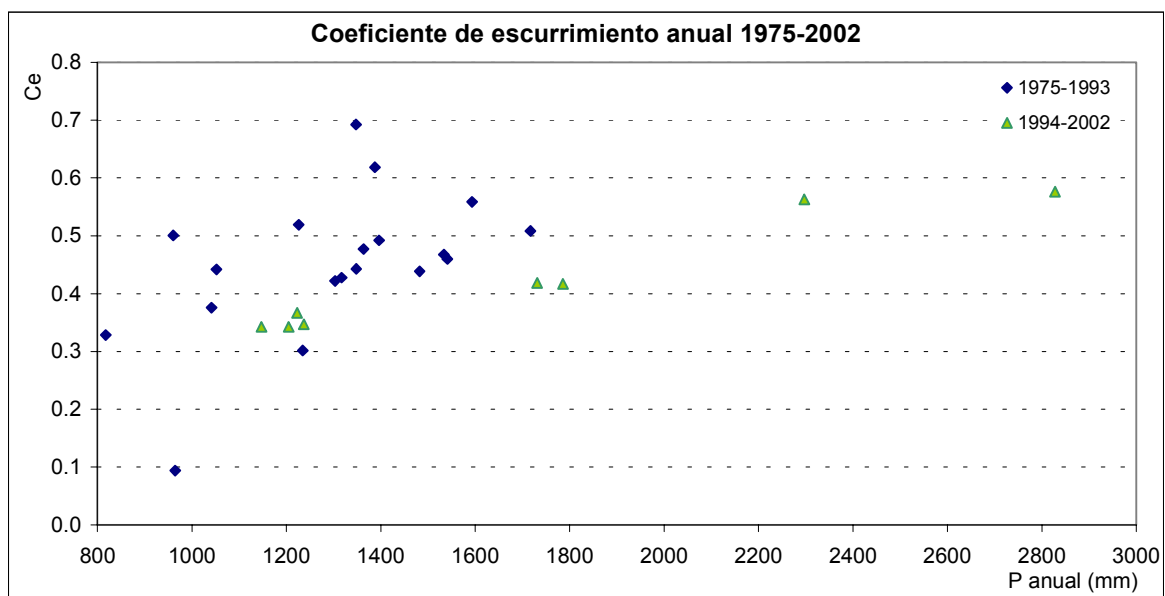


Figura 4. Coeficientes de escorrentía anual en la macrocuenca P° Manuel Díaz

En la Figura 4 se representan los coeficientes de escorrentía anual, asociados a la precipitación media anual, distinguiendo entre el período preforestación (1975-1993) y el período posforestación (1994-2002).

En el intervalo de precipitación hasta 1800 mm, en el que es posible la comparación entre el período preforestación y posforestación, se observa en la Figura 4 una tendencia a menores valores de los coeficientes de escorrentía para el período posforestación. Seguidamente se profundiza el análisis, procurando cuantificar estas alteraciones de los coeficientes de escorrentía.

En la Figura 5 se representan los coeficientes de escorrentía, eliminando del análisis los años 2001 y 2002, debido a que las precipitaciones extremas anuales registradas en ellos no cuentan con años comparables en el período preforestación. Igual consideración merece el año 1989, extremadamente seco (coeficiente de escorrentía anual 0,09), para el que no existe un año comparable en el período posforestación. En la Figura 5 se incluyen además líneas de tendencia para los coeficientes de escorrentía, según correspondan al período preforestación o posforestación. Las líneas de tendencia fueron determinadas aplicando el criterio de la mediana, calculada por rangos de precipitación media anual, dejando igual cantidad de puntos por encima y por debajo de las líneas de tendencia.

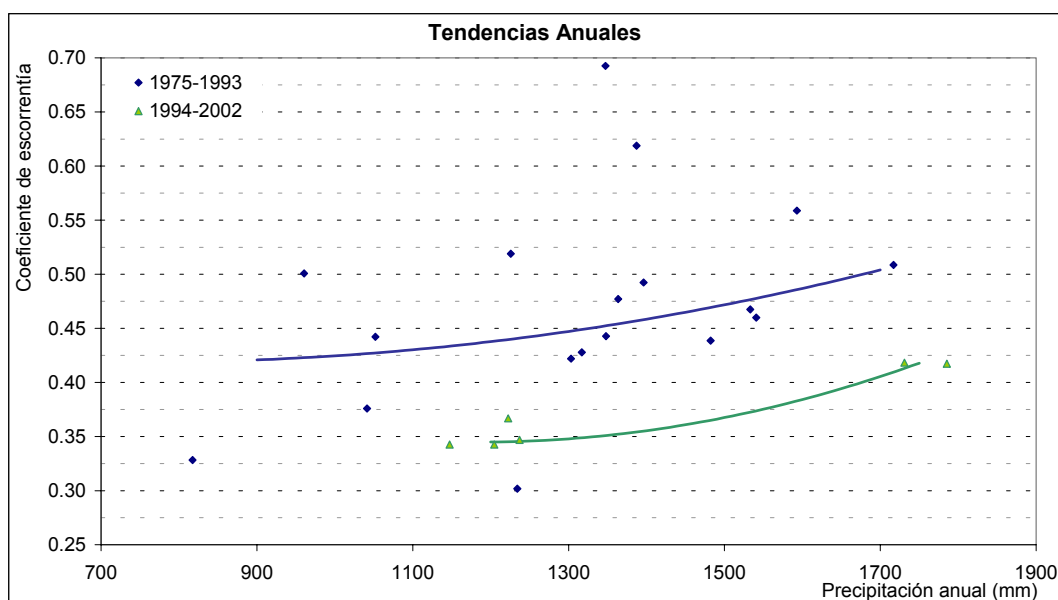


Figura 5. Coeficientes de escorrentía anuales y líneas de tendencia según la precipitación anual, distinguiendo entre período preforestación y posforestación, en la macrocuenca P° Manuel Díaz

Coeficientes de escorrentía estacionales

A partir de la información limnimétrica diaria se calcularon los escurrimientos estacionales, y con los datos diarios de pluviómetros se calculó la precipitación media estacional por el método de Thiessen, distinguiéndose entre el período Abril – Setiembre y Octubre – Marzo. En la Tabla 5 se presentan los coeficientes de escorrentía estaciones resultantes y en las Figuras 6 y 7 se los representa gráficamente, asociados a la precipitación media estacional, incluyendo líneas de tendencia determinadas siguiendo idéntico criterio que para los coeficientes de escorrentía anuales.

Abril – Setiembre						Octubre – Marzo					
Año	P est (mm)	Ce	Año	P est (mm)	Ce	Año	P est (mm)	Ce	Año	P est (mm)	Ce
1975	626.1	0.38	1989	434.7	0.10	1975	593.1	0.30	1989	867.0	0.22
1976	477.7	0.45	1990	420.5	0.63	1976	883.8	0.39	1990	694.9	0.35
1977	689.6	0.73	1991	793.2	0.62	1977	661.4	0.31	1991	727.0	0.38
1978	415.6	0.67	1992	874.2	0.88	1978	397.5	0.41	1992	590.7	0.32
1979	382.0	0.21	1993	767.7	0.54	1979	676.1	0.29	1993	821.6	0.41
1980	475.5	0.67	1994	553.2	0.49	1980	818.0	0.40	1994	785.7	0.28
1981	688.5	0.57	1995	461.3	0.48	1981	598.2	0.24	1995	732.2	0.22
1982	738.0	0.43	1996	536.7	0.47	1982	893.5	0.54	1996	672.3	0.28
1983	547.0	0.68	1997	510.6	0.41	1983	716.0	0.45	1997	1700.7	0.63
1984	694.2	0.65	1998	1038.0	0.78	1984	577.8	0.23	1999	631.9	0.14
1985	730.7	0.75	1999	673.8	0.47	1985	542.3	0.23	2000	1039.3	0.32
1986	614.9	0.61	2000	892.0	0.61	1986	946.7	0.33	2001	1047.4	0.38
1987	814.1	0.71	2001	1148.9	0.72	1987	718.1	0.40			
1988	403.8	0.54	2002	1221.6	0.65	1988	383.8	0.15			

Tabla 5. Precipitación y coeficientes de escorrentía estacionales en la macrocuenca P° Manuel Díaz

En la Figura 6, período estacional Abril – Setiembre, se observa una tendencia a menores coeficientes de escorrentía en el período posforestación. No obstante, dependiendo de la precipitación media estacional, su distribución en el período y la intensidad de los eventos, se identifica un número de coeficientes de escorrentía correspondientes al período preforestación que su ubican por debajo de la línea de tendencia del período posforestación.

La tendencia a menores coeficientes de escorrentía estacionales en el período posforestación es mucho más marcada en la estación Octubre – Marzo, según se observa en la Figura 7, en la que un único coeficiente de

escorrentía en el período preforestación se ubica debajo de la línea de tendencia correspondiente al período posforestación. Este coeficiente de escorrentía corresponde al año 1989, que fuera descartado en el análisis anual por su condición anómala de año extremadamente seco. Probablemente, esta diferencia más notoria entre los coeficientes de escorrentía preforestación y posforestación, en el período estival Octubre – Marzo, se deba a una mayor demanda de agua por parte de las plantaciones forestales, producto del cambio de uso de los suelos en la cuenca.

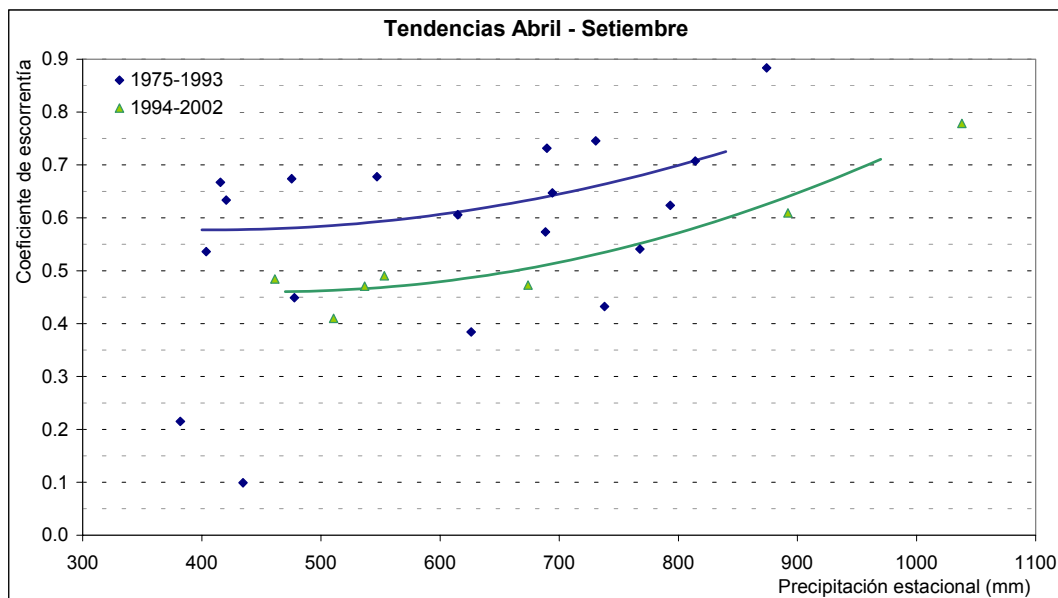


Figura 6. Coeficientes de escorrentía estacionales (Abril – Setiembre) y líneas de tendencia según la precipitación media estacional, distinguiendo entre período preforestación y posforestación, en la macrocuenca P° Manuel Díaz

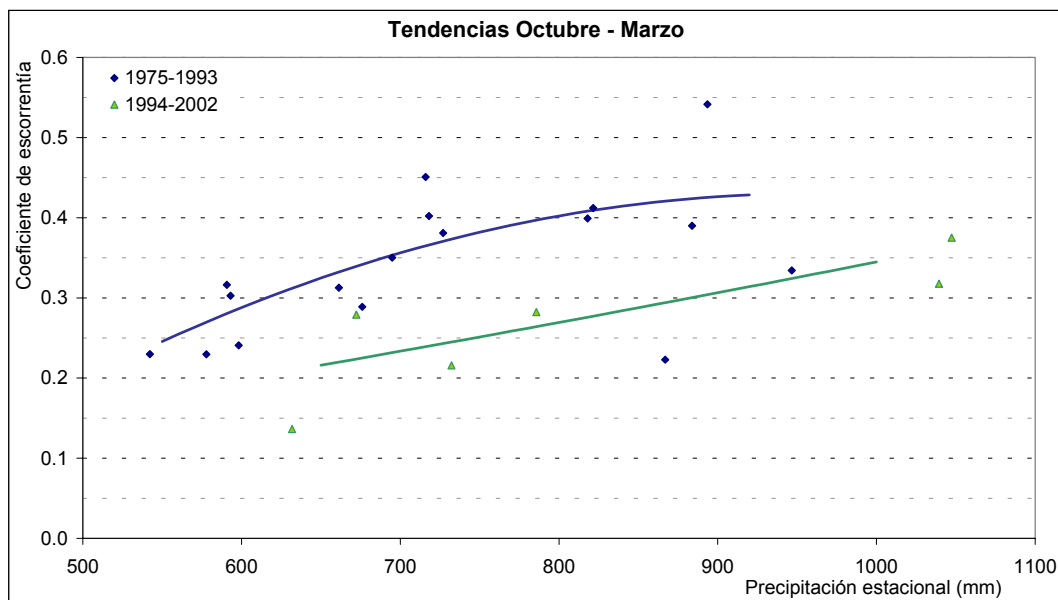


Figura 7. Coeficientes de escorrentía estacionales (Octubre – Marzo) y líneas de tendencia según la precipitación media estacional, distinguiendo entre período preforestación y posforestación, en la macrocuenca P° Manuel Díaz

A partir de las líneas de tendencia para coeficientes de escorrentía anual y estacional, se confeccionó la Figura 8, en la que se expresa la tendencia a una reducción porcentual de los coeficientes de escorrentía, producto del desarrollo forestal en la cuenca. Según esta figura, los coeficientes de escorrentía anuales tienen a disminuir entre un 20 a 22,5 %, dependiendo de la precipitación anual. A nivel estacional, la disminución porcentual de los coeficientes de escorrentía varía entre 27,5 a 34%, en la temporada estival Octubre – Marzo, dependiendo de la precipitación estacional. La reducción en los meses de otoño – invierno, Abril –

Setiembre, en que la escorrentía tiene a ser mayor, es significativamente menor, con variaciones entre un 17,5 a 21,5%, dependiendo de la precipitación estacional. Esta menor reducción en meses en que la escorrentía tiende a ser mayor, amortigua el efecto sobre los coeficientes de escorrentía anual.

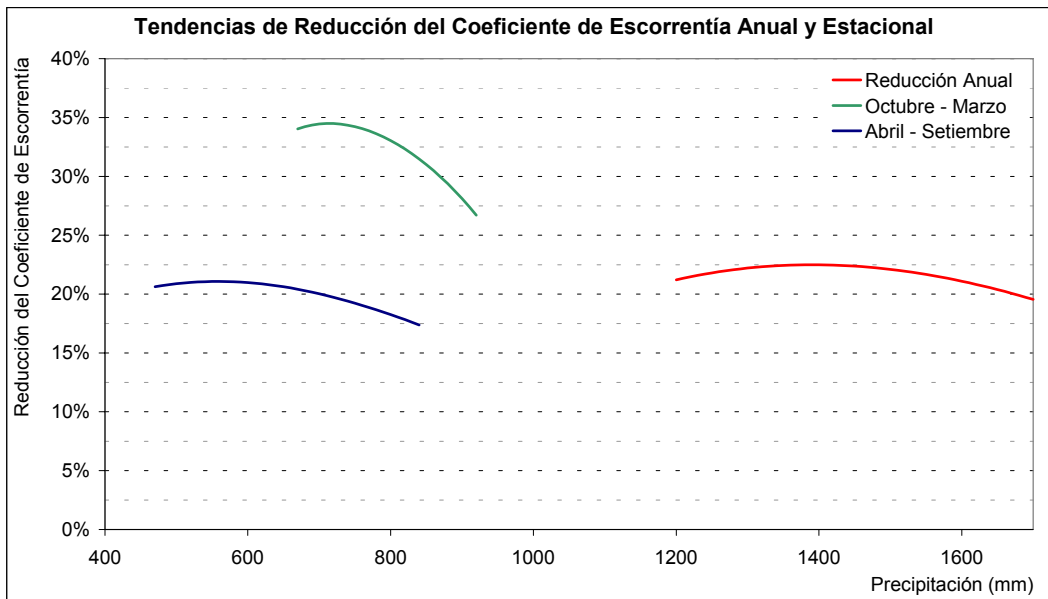


Figura 8. Reducción porcentual de los coeficientes de escorrentía (anuales y estacionales), calculados en base a las líneas de tendencia de las Figuras 5 a 7, en la macrocuenca P° Manuel Díaz

Finalmente, la Figura 9 muestra la evolución de las medias móviles de 10 años de precipitación y caudal anual en la macrocuenca P° Manuel Díaz. La Figura 9 permite observar que a pesar de la tendencia creciente de las precipitaciones, a nivel de caudales se produce un descenso a partir del año 1993, coincidente con el marcado desarrollo forestal que se señalara anteriormente. La tendencia se revierte solamente en las medias móviles calculadas para los dos últimos años, que se caracterizaron por lluvias extraordinarias, que superaron largamente los 2.000 mm/año, comparado con la media histórica que se sitúa en el orden de los 1.400 mm/año, provocando inundaciones que afectaron severamente a las poblaciones del interior del país.

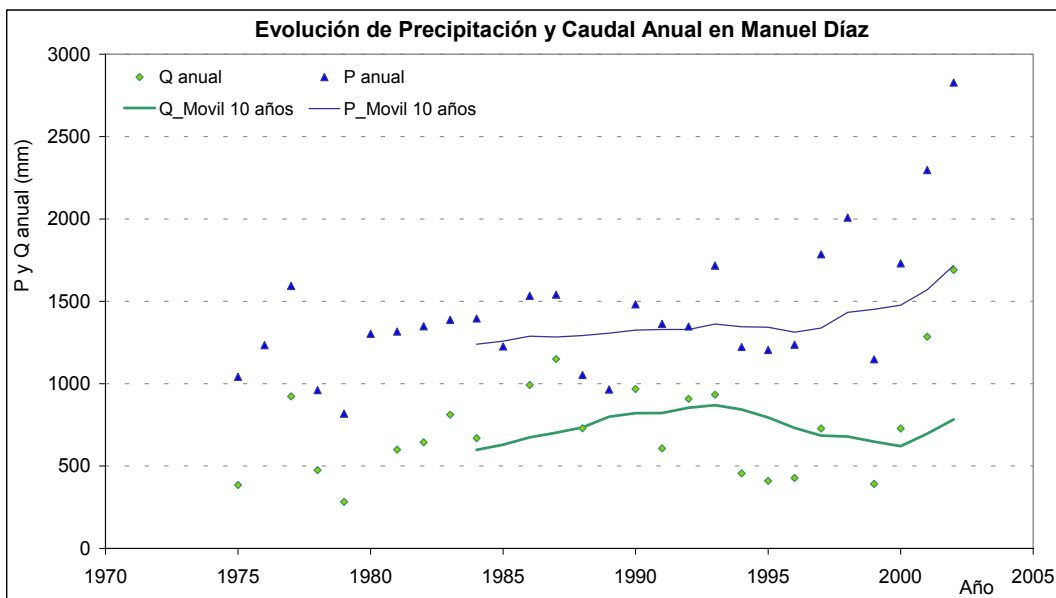


Figura 9. Evolución de las medias móviles de 10 años de precipitación y caudal anual en la macrocuenca P° Manuel Díaz

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados que se obtienen al analizar los coeficientes de escorrentía en una macrocuenca con una superficie de 2.097 km², muestran que éstos se reducen, producto de la sustitución de campo natural para uso ganadero por plantaciones de eucaliptos y pino. Asimismo, la evolución de las medias móviles de precipitación y caudal confirman la tendencia descendente de estos últimos a partir del año en que da inicio el marcado desarrollo forestal en la macrocuenca P° Manuel Díaz.

La determinación y análisis de los coeficientes de escorrentía anual y estacional, para los períodos preforestación (1975-1993) y posforestación (1994-2002), no contempla como se distribuye la precipitación, ni su intensidad. Tampoco se incluye en el análisis el factor edad de las plantaciones, que se modifica año a año, producto del crecimiento de los árboles y de la instauración de nuevas plantaciones. Los autores entienden conveniente hacer estas precisiones, puesto que la gestión integral de los recursos naturales requiere un análisis más profundo y herramientas más sofisticadas, como la implementación de modelos hidrológicos distribuidos, que incluyan a su vez la modelación de la redistribución de lluvias en aquellas áreas cubiertas por plantaciones forestales, a efectos de cuantificar la intercepción y la precipitación neta que llega al suelo.

Los porcentajes de reducción de los coeficientes de escorrentía que aquí se presentan deben, por lo tanto, entenderse como meras tendencias globales, para el estado y edad actual de las plantaciones forestales existentes en la macrocuenca P° Manuel Díaz. Las conclusiones que puedan extraerse en esta etapa de avance de la investigación están sujetas, por consiguiente, a las limitaciones que imponen las variables y herramientas de cálculo utilizadas. No obstante, los resultados obtenidos justifican – a juicio de los autores – la profundización de estas investigaciones, necesarias para dotar al país de las necesarias herramientas para la gestión integral de sus recursos naturales y su 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.
- 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.
- 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.