

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

APLICACIÓN DE UN MODELO SIMPLE PARA DETERMINAR LA
VARIACIÓN EN EL CONSUMO DE AGUA AL MODIFICAR LA
CUBIERTA VEGETAL

Leticia Martínez¹⁾, Luis Silveira²⁾, Jimena Alonso²⁾, Magdalena Crisci²⁾, Santiago Symonds²⁾

¹⁾Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía; Montevideo – Uruguay

²⁾Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), Facultad de Ingeniería, Montevideo – Uruguay.
Universidad de la República

lmartinez@fagro.edu.uy, lesy@fing.edu.uy, jalonso@fing.edu.uy, mcrisci@fing.edu.uy, ssymonds@fing.edu.uy

RESUMEN:

El sector forestal en el Uruguay ha experimentado un marcado desarrollo en las últimas dos décadas, pasando de 45.000 a 1.000.000 de hectáreas cultivadas con *Eucalyptus spp.* y *Pinus spp.*, afectando intensamente el uso del suelo en algunas zonas del país. Este trabajo presenta el desarrollo de un Modelo Simple, que permite calcular el consumo de agua en una cuenca o parcela cuando se modifica el uso del suelo, parcial o totalmente, desde pastura a forestación o viceversa. El modelo se basa en la información hidrológica, monitoreada durante tres años, en dos microcuencas experimentales sometidas a diferentes manejos (pastura natural y forestación con *Eucalyptus globulus ssp. Maidenii*). Para ello, se estimó la evapotranspiración realizando balances hídricos mensuales para ambas microcuencas. Seguidamente, analizando períodos de tiempo trimestrales, se correlacionó la evapotranspiración estimada y la precipitación, para cada cobertura. El modelo considera estas relaciones y el porcentaje que ocupa cada tipo cobertura, para evaluar la variación del consumo de agua a nivel estacional frente a un cambio, total o parcial, en la cobertura vegetal. Conviene señalar que el modelo sobreestima la evapotranspiración anual en un 11,6% de la lluvia anual, si se la compara con la calculada por el modelo de Zhang. Esta diferencia probablemente explica la percolación, término que en el balance hídrico fue adicionado a la evapotranspiración estimada por carecer de datos.

ABSTRACT:

The forestry sector in Uruguay has experienced a marked development in the last two decades. The forested area with *Eucalyptus spp.* and *Pinus spp.* increased from 45.000 to 1.000.000 ha, affecting intensely the soil use in some regions of the country. This paper presents the development of a Simple Model which allows estimating the water consumption and its variation in a basin or a plot. The model is useful to analyze the soil use modification, partially or totally, from pastures to forest or vice versa. It is based on hydrological data, monitored during three years, in two microbasins with different soil use management (natural pastures and forestation with *Eucalyptus globulus ssp. Maidenii*). The evapotranspiration was estimated by the monthly water budget for both watersheds. Then, the evapotranspiration was correlated with rainfall, by considering 3-month time step periods for each coverage type. The model considers these relationships and the percentage occupied by each coverage type, to evaluate the seasonal variation in water consumption. It should be noted that the model overestimates annual evapotranspiration by 11.6% of annual rainfall, when compared with that calculated by the model of Zhang. This difference probably explains the percolation, a term in the water budget which was added to the estimated evapotranspiration due to the lack of data.

PALABRAS CLAVES: forestación, evapotranspiración, modelación

INTRODUCCIÓN

En los últimos 25 años, el sector forestal en el Uruguay ha experimentado un marcado desarrollo, afectando intensamente el uso del suelo en algunas zonas del país. Este cambio generó que extensas áreas destinadas a la ganadería, en base a pasturas naturales, se utilicen actualmente para la forestación. Desde la aprobación de la Ley Forestal N° 15.939 promulgada en 1987, el área cultivada principalmente con *Eucalyptus spp.* y *Pinus spp.*, pasó de 45.000 hectáreas en 1990 a 1.000.000 hectáreas a fines de 2009. El desarrollo pronunciado del sector en el corto plazo en cuanto al área cultivada, conjuntamente con un marcado dinamismo industrial, el cual genera una demanda cada vez mayor de productos forestales, ha generado preocupación en la sociedad y en las instituciones nacionales con respecto a su impacto sobre los recursos naturales, en particular suelos y aguas.

Desde hace varias décadas existen controversias sobre el impacto que genera la forestación o deforestación sobre el ciclo del agua. El clima, la geología, los suelos, la topografía, son las variables que generan diferencias en el impacto ocasionado sobre los recursos hídricos cuando se modifica la cobertura vegetal. Los procesos de deforestación y reforestación representan, a escala global, la modificación del uso de la tierra más significativa, tanto por la superficie afectada como por la incidencia sobre los procesos hidrológicos (Calder, 1992). Para coberturas de Pinos o *Eucalyptus* se ha estimado variaciones de 40 mm el escurrimiento superficial, a nivel de cuenca, por cada 10% de cambio en la cubierta forestal, sin embargo en especies de hoja caduca y arbustivas los resultados son de 25 y 10 mm respectivamente. Bosch, et. al (1982).

Los efectos que producen los cambios de vegetación sobre el rendimiento de agua y evapotranspiración a nivel de cuenca han sido evaluados en un gran número de experimentos: los que abarcan el análisis de los cambios producidos a nivel de una misma cuenca, evaluando el impacto generado por la forestación o deforestación y los que comprenden estudios realizados en dos cuencas de similares características en cuanto a suelo, topografía, área, características hidrológicas, clima y geología: “cuencas apareadas”.(Zhang, 1999; Bosch, 1982 ; Brown, 2005, Soares, 2004). Sin embargo, son necesarias otras metodologías que permitan predecir los efectos de los cambios en el manejo de la cobertura vegetal, en este sentido son varios los modelos empíricos desarrollados que permiten evaluar el impacto de la forestación sobre los recursos hídricos. (Zhang, 1999; Holmes y Sinclair, 1986; Lu, 2003).

Un modelo simple de dos parámetros para estimar la evapotranspiración media anual a escala de cuencas para dos tipos de vegetación: forestal y pasturas fue desarrollado por Zhang et al (1999, 2001). Su estudio se basó en el análisis de los resultados obtenidos en 250 estudios alrededor del mundo, con diferentes tipos de vegetación a través de un gradiente de precipitación. Considera que el principal proceso responsable de los cambios en el ciclo hidrológico como resultado de alteraciones en la vegetación, para una escala anual, es la evapotranspiración.

En igual sentido, Lu et al (2003) desarrollaron un modelo de regresión para estimar la evapotranspiración anual, en cuencas con forestación como vegetación dominante, a través del sudeste de Estados Unidos. El objetivo fue obtener un modelo que permita cuantificar la evapotranspiración regional y cómo ésta es afectada por la precipitación y la cobertura del suelo. Determinaron que las variables ambientales más importantes que explicaron la variabilidad espacial de la evapotranspiración regional fueron: precipitación, latitud, elevación y porcentaje del área afectada por forestación.

La comprensión del impacto de la vegetación en el rendimiento de agua medio anual se encuentra avanzada y hay disponibles métodos confiables para predecir tales cambios, sin embargo, los efectos en los flujos estacionales, mensuales y diarios se encuentran menos comprendidos. Estos

últimos pueden ser tan o más importante que el impacto sobre el flujo total anual. Actualmente no existen modelos propuestos que contemplen la variación de los escurrimientos estacionales a cambios en la vegetación, consecuencia principalmente de la naturaleza cualitativa y gráfica de muchos de los flujos estacionales reportados en la literatura, a partir de los cuales se han desarrollado los modelos de base anual (Brown et al 2005). A una escala de tiempo estacional otras características de la cuenca tales como tipo, profundidad y contenido de agua en el suelo determinan interacciones de importancia que afectan significativamente el balance hídrico, modificando las respuestas con respecto a cuándo se trabaja en períodos anuales (Brown et al, 2005; Johnson y Kovner, 1956).

Como se mencionó anteriormente, a nivel internacional existe información referente a los efectos ocasionados en el ciclo hidrológico cuando se producen cambios en el uso del suelo, pero la variedad de especies y ambientes estudiados no permiten generalizarla a nuestras condiciones, es necesario generar información que considere las características locales de clima, suelo, geología y del uso y manejo del suelo. Con tal objetivo en el año 1998 las Facultades de Ingeniería y Agronomía de la Universidad de la República, en el marco de la Red Temática de Ingeniería Agrícola, iniciaron un programa de investigación y monitoreo en macrocuencas, microcuencas y parcelas forestadas. Contar con indicadores sobre los cambios en el ciclo hidrológico, resultantes de las modificaciones realizadas en el uso del suelo, proveerá a los sectores involucrados de la información necesaria para sustentar la toma de decisiones políticas con la finalidad de lograr un Manejo Forestal Sustentable. (Silveira et. al. 2006)

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un modelo simple de cálculo, que permita estimar las variaciones en el consumo de agua en una cuenca o parcela cuando se modifica parcial o totalmente el uso del suelo, desde pastura a forestación o viceversa. El propósito es generar una herramienta, incorporando las características climáticas y edáficas locales, que permita evaluar los efectos generados sobre los recursos hídricos a partir de un cambio en el uso del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

a) Área de estudio

El sitio de estudio se encuentra en la zona litoral oeste del Uruguay, 15 km al norte de la población Piedras Coloradas, km 48,5 de Ruta N° 90, departamento de Paysandú, ubicación 34° 25' latitud sur y 55° 23' de longitud oeste, a 100 msnm, con un promedio anual de temperatura y precipitación de 18°C y 1200mm respectivamente. La elección de la zona de estudio obedece a su representatividad en cuanto al rubro forestal (Figura 1).

Se seleccionaron dos microcuencas, una con cubierta de pasturas naturales, situada en el establecimiento “La Cantera” y otra bajo manejo forestal, situada en el establecimiento “Don Tomás”. Los cauces principales son la “Cañada de La Quinta” y “Cañada Baygorria” respectivamente, los cuales son afluentes del Arroyo Capilla Vieja. Los parámetros físicos que caracterizan ambas microcuencas pueden observarse en la siguiente Tabla 1.

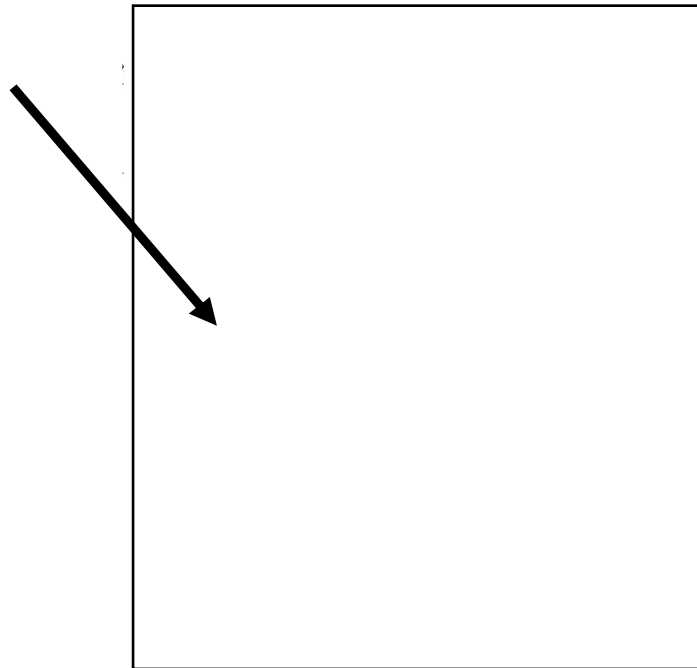


Figura 1.- Localización del sitio de estudio

Tabla 1.- Parámetros físicos característicos de ambas microcuencas.

Parámetros físicos	Microcuenca Forestal	Microcuenca Pastura
Área (km ²)	2.12	1.20
Perímetro (km)	5.81	4.58
Long. Cauce (m)	1783	2168
Pend. de cauce (%)	0.90	1.58
Pend. media cuenca (%)	4.68	5.92
Tiempo de concentrac. (min)	39.0	36.5

El relevamiento de suelos a escala 1:20.000 en ambas microcuencas determinó que en la zona alta predominan suelos que clasifican como Brunosoles Subéutricos y Vertisoles Rúpticos . Por debajo del interfluvio aplanado se encuentran sucesivos niveles de escarpas formadas por materiales cretácicos consolidados con afloramientos rocosos. El nivel superior de escarpas, inmediatamente por debajo del interfluvio, está constituido por materiales con alto contenido de calizas, en cuyas áreas de retroceso se desarrollan suelos francos a arenoso francos profundos identificados como Brunosoles Subéutricos Típicos. En las zonas mas bajas se encuentran suelos pardos muy diferenciados texturalmente (Argisoles Dístricos), asociados a suelos superficiales o muy superficiales (Litosoles Subéutricos).

La similitud en las características geológicas, geomorfológicas y de distribución de los suelos en ambas microcuencas aporta validez a la metodología de estudio seleccionada, en la cual éstas serán utilizadas como elementos de comparación frente a los diferentes usos de los suelos (forestal – pastura).

La vegetación en la microcuenca forestal está compuesta por *Eucalyptus globulus* en un 55% del área y pastura natural en el 45% restante. La caracterización de la plantación al momento de la instalación del experimento se presenta en la Tabla 2.