

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

COMPARACIÓN ENTRE EL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN
CALCULADO Y OBSERVADO EN DOS MICROCUENCAS DEL URUGUAY

Lisette Bentancor¹, Luis Silveira²

¹Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, ²Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo Uruguay
lbentancor@fagro.edu.uy, lesy@fing.edu.uy

RESUMEN:

El *tiempo de concentración* (t_c) de la cuenca es el parámetro que más incertidumbre tiene en su determinación, cuando se trata de diseñar obras de almacenamiento. Para calcularlo se aplican ecuaciones empíricas desarrolladas en otras regiones, con distintos suelos, topografía y clima, que han sido validadas en el ámbito nacional en forma indirecta y parcial. Este trabajo compara los tiempos de concentración obtenidos por formulas empíricas y los observados, y analiza su relación con el período de retorno asociado a las tormentas. La información base se obtuvo de dos microcuencas experimentales, una de uso forestal y su testigo con praderas naturales para uso ganadero. Se cuenta con datos de eventos registrados entre 2006 y 2009. Los resultados permiten identificar tendencias: 1) El t_c observado disminuye a medida que crece el período de retorno. 2) Para estas microcuencas, el t_c calculado según la ecuación de Kirpich sobrestima los valores de t_c para periodos de retorno superiores a 1,5 años. 3) El t_c según Izzard refleja la misma relación/variación con el período de retorno, sobrestimando sus valores en ambas microcuencas, tendiendo a valores constantes y asintóticos para una recurrencia mayor a 2,5 años.

ABSTRACT:

The time of concentration (t_c) of the basin is the parameter with more uncertainty in its determination, when designing storage waterworks. Empirical equations developed in other regions, with different soils, topography and climate, are usually applied to calculate the time of concentration. These equations have been validated by an indirect and partial way. This paper compares the times of concentration obtained by empirical formulae and the observed ones. It also analyzes the relationship between the time of concentration and the return period associated to the storms. The base information was obtained from two experimental microbasins, one of forest use and the other one of natural pastures for cattle use. The available events were monitored between 2006 and 2009. The results allow identify the following trends: 1) The observed t_c diminishes as the return period grows. 2) The t_c calculated according to Kirpich's equation overestimates the values corresponding to return periods larger than 1,5 years. 3) The t_c computed according to Izzard reflects the same relationship / variation with the return period, overestimating its values in both microbasins, and tending to a constant value for a recurrence larger than 2,5 years.

PALABRAS CLAVES: obras de almacenamiento, caudal de diseño, flujo concentrado

INTRODUCCIÓN

La ganadería constituye el principal uso del suelo en nuestro país, resultando en que la superficie destinada a campo natural y pasturas artificiales representa un 82% de la superficie total. La ausencia prolongada de precipitaciones provoca limitantes en la producción agrícola – ganadera, entre las que se destacan: insuficiencia de agua para riego, insuficiencia de agua para abrevaderos y déficit hídrico en cultivos de secano. Estas dos últimas afectan principalmente al sector agropecuario, dado que disminuyen la cantidad y calidad del agua para abrevadero del ganado, así como la producción de forraje.

La producción agropecuaria necesita de un abastecimiento seguro de agua de calidad. La disponibilidad de agua mensual en el Uruguay tiene una alta incertidumbre, al tener una alta variabilidad interanual. Esta incertidumbre se puede suplir con la construcción de embalses (Genta y Failache, 2007).

A nivel nacional, el Ministerio de Agricultura y Pesca, por medio de su proyecto Producción Responsable se plantea como objetivos, promover la adopción de sistemas de obtención y almacenamiento de agua para estabilizar la producción ganadera en el norte del país, dando respuesta inmediata al suministro de agua para el ganado, en predios de pequeños y medianos productores familiares. El diseño de estas pequeñas obras de almacenamiento de agua (tajamares y pequeñas represas, para riego o abrevadero), requiere proyectar obras de desagüe, con secciones suficientes para permitir evacuar los excesos de agua y evitar daños, tanto en las obras de cierre como aguas abajo. Para ello, se debe estimar el caudal máximo instantáneo, o punta de la crecida. Dos de los métodos más utilizadas para su cálculo, son: el Método Racional y el Método del Hidrograma Unitario Triangular. Ambos métodos requieren conocer el *tiempo de concentración* (tc) de la cuenca. Éste se define como: “tiempo requerido para que el agua fluya desde el punto hidráulicamente más remoto de la cuenca a la salida de la misma, ocurriendo que toda la zona situada aguas arriba de la salida contribuya a la escorrentía.” Además, se requiere disponer de curvas de intensidad-duración-frecuencia de lluvia.

En el país, para determinar el tc, se aplican ecuaciones empíricas: Kirpich (1940), para flujo concentrado; y el método de velocidad del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS) de los Estados Unidos (1975, 1986), para flujo no concentrado. A nivel nacional, la aplicación de estos métodos ha sido validada en forma indirecta y parcial, (Silveira et al., 2000).

La determinación del tc es fundamental en el cálculo de la tormenta de diseño. Bondelid et al. (1982) sostienen que, el 75% de los errores al estimar el caudal máximo, pueden provenir justamente de errores en la estimación del tiempo de concentración.

Medir el tiempo de concentración ha sido objeto de numerosas investigaciones. Pilgrim (1966) ha desarrollado técnicas de campo con trazadores para medir el escurrimiento y sugiere definirlo como, el tiempo transcurrido desde la aparición de un elemento en el punto más remoto y la aparición de la máxima salida del elemento. Bell y Om Kar (1969) sostienen que hay dos hipótesis: a) el tc es igual al tiempo entre el fin de la lluvia efectiva y el punto de inflexión del hidrograma de salida; b) el tc es igual al tiempo de subida del hidrograma. Estos autores sostienen que ambas varían de tormenta a tormenta y que han sido usadas por diferentes investigadores.

En este trabajo, se compara el tiempo de concentración calculado según las ecuaciones de Kirpich (1940) e Izzard (1946), con datos observados en dos microcuencas experimentales de 2,12 y 1,2 km² y pendientes de 4,7 y 6%, de uso forestal y pastura respectivamente. Los tc observados se obtuvieron analizando hidrogramas e hietogramas.

El propósito de esta investigación es evaluar el grado de ajuste de diferentes estimadores del tc a través de su confrontación con los observados y analizar su relación con el periodo de retorno asociado a las tormentas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las microcuencas experimentales fueron instrumentadas y monitoreadas en el marco de los proyectos PDT 32/03 “Indicadores hidroambientales de manejo forestal sustentable de las plantaciones de *Eucalyptus* en el Uruguay” e INIA FPTA 210 “Efectos de la actividad forestal sobre los recursos suelos y aguas, en microcuencas similares sometidas a distinto manejo”.

Se ubican en el departamento de Paysandú, entrada por el Km 48,500 de ruta 90, a unos 15 km de la localidad de Piedras Coloradas. La microcuenca forestal (50 % del área forestada) está situada en el predio “Don Tomás”, sobre la Cañada Baygorria, y la microcuenca cubierta por pasturas (100% del área) está situada en el predio “La Cantera”, sobre la cañada de La Quinta. Ambos cauces son afluentes del arroyo Capilla Vieja en su margen izquierda. (Figura 1)

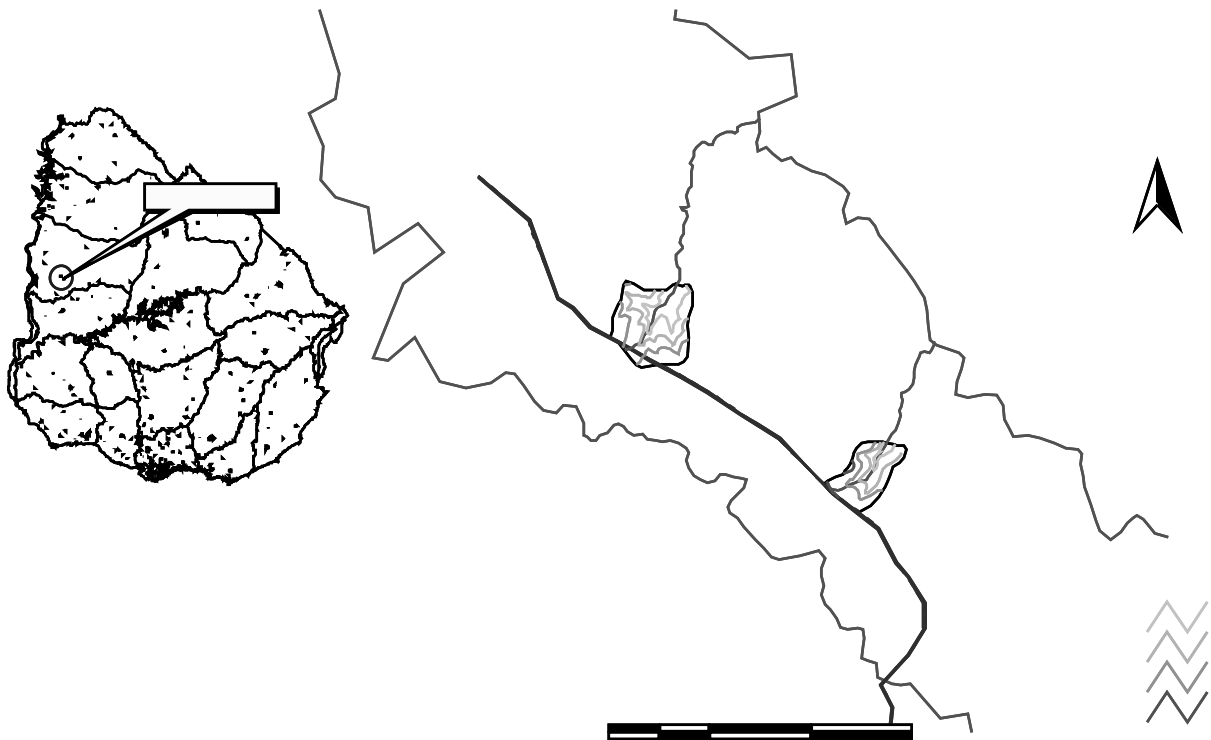


Figura 1.- Ubicación de las microcuencas.

Las características geomorfológicas y de distribución de los suelos en ambas microcuencas son muy semejantes, lo que aporta solidez a la comparación de los diferentes usos de los suelos. Los materiales generadores, en ambas microcuencas, son sedimentos cretácicos con relieve escarpado y valles disectados, formando lomadas fuertes y suaves.

En las cabeceras de las microcuencas de las Cañadas de la Quinta y Baygorria, los interfluvios aplanados se encuentran asociaciones de suelos que clasifican como Brunosoles Subéutricos Típicos/Lúvicos y Vertisoles Rúpticos Lúvicos como suelos accesorios, siendo los primeros la asociación dominante.

Por debajo del interfluvio aplanado, en ambas microcuencas se encuentran sucesivos niveles de escarpas formadas por materiales cretácicos consolidados con afloramientos rocosos. Las pendientes son del 1 % y menores. Unidad IAp(L)K de la Figura 2.

El nivel superior de escarpas 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, negros asociados a suelos más superficiales, Brunosoles subéutricos típicos. Las pendientes oscilan entre 3 y 5 %. Unidad LcK de la Figura 2.

Por debajo otro nivel de escarpas formado por areniscas silicificadas de la Formación Guichón en cuyas áreas de retroceso se encuentran suelos pardos muy diferenciados texturalmente y bajo contenido de materia orgánica, Argisoles Dístricos Melánicos Abrúpticos, a ellos se encuentran asociados suelos superficiales o muy superficiales, Litosoles Subéutricos Ocrícos. A diferencia de lo que ocurre en la microcuenca de la Cañada de la Quinta, en la cual esta unidad de suelos llega hasta el valle que acompaña la vía de drenaje, en la microcuenca de la cañada de Baygorria existe un nivel inferior de escarpas que da lugar a una unidad de suelos con una asociación muy similar a la que está en posición altimétricamente superior, compuesta por Litosoles y Argisoles. Unidad Esc K, Figura 2.

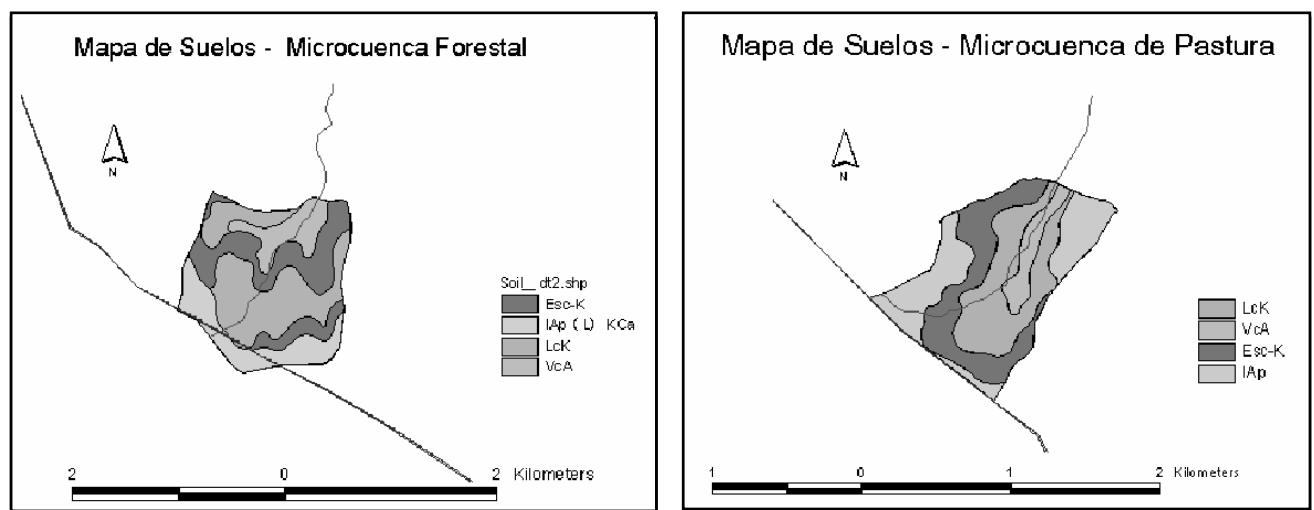


Figura 2.-Mapa de suelos de la microcuenca Don Tomás (forestal) y La Cantera (pastura).

Tabla 1.- Parámetros de las microcuencas

Parámetros físicos	Microcuenca Forestal	Microcuenca campo natural
Área (km ²)	2,12	1,20
Perímetro (km)	5,81	4,58
Long. Cauce (m)	1783	2168
Pend. Cauce	0,90%	1,58%
Pend. media de la cuenca	4,68%	5,92%
Tiempo de Conc. (min)	39,0	36,5

Las microcuencas se caracterizaron por los parámetros físicos descriptos en la Tabla 1: área, perímetro, longitud y pendiente del cauce principal, pendiente media de la microcuenca y tiempo de concentración calculado por el método de Kirpich (1940).

Instrumentación

La instrumentación de las microcuencas consiste en cierres del curso principal con vertederos de cresta delgada triangulares con limnógrafos digitales, tipo Thalimedes, marca Ott. La precipitación total incidente sobre la microcuenca forestal se registró con un pluviógrafo digital, marca Rainwise, instalado en un claro, en la zona central de la microcuenca. En el mismo sitio, se instaló también una estación meteorológica, que registra velocidad y dirección de viento, datos estos que se utilizan para corregir la precipitación por la fuerte acción de los vientos (Musy y Laglaine, 1992). Puesto que la distancia entre baricentros de las microcuencas es de 5 km, se colocó otro pluviógrafo en la microcuenca con pastura natural para el registro de la precipitación total incidente sobre la misma

La serie de datos analizados se extiende de junio de 2006 a diciembre de 2009, presentando algunas discontinuidades, con pérdida de algunos eventos extremos.

Metodología de cálculo del t_c

Para la determinación del t_c , se aplicó la metodología descrita por Tucci (2000) y Gupta (1989), en donde el t_c observado resulta de considerar el lapso de tiempo entre el final de la lluvia efectiva y el punto de inflexión de la curva de descenso del hidrograma, que se considera el final del escurrimiento directo (punto C de la Figura 3).

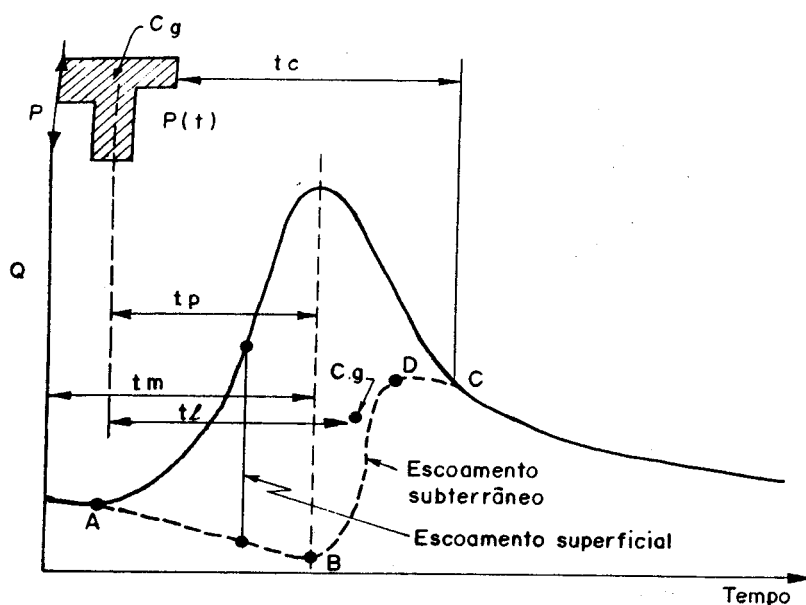


Figura 3.- Hidrograma tipo, tomada de Tucci (1993)

A partir de los datos registrados en campo, de caudales e intensidad de precipitación, se elaboraron los hidrogramas e hietogramas de los excesos de precipitaciones correspondientes a cada tormenta. Seguidamente se determinó gráficamente el t_c , como se describió anteriormente. De estos hidrogramas se obtuvieron otros parámetros característicos como intensidad máxima de lluvia, volumen de precipitación y caudal máximo.

Se determinó además el periodo de retorno de cada tormenta, según la metodología descrita por Silveira et al. (2000). Conocida la duración d (h) y la precipitación acumulada de cada evento, así como la precipitación de 3 horas y 10 años de periodo de retorno (curvas IDF, Genta et al., 1998), se determinó el período de retorno aplicando las siguientes ecuaciones:

$$CT(Tr) = 0.578 - 0.4312 \log \left[\ln \left[\frac{Tr}{Tr-1} \right] \right] \quad [1]$$

$$\text{Para } d < 3 \text{ horas} \quad CD = \frac{0.6208.d}{(d + 0.0137)^{0.5639}} \quad [2]$$

$$\text{Para } d > 3 \text{ horas} \quad CD = \frac{1.0287.d}{(d + 1.0293)^{0.8083}} \quad [3]$$

CT - Coeficiente de corrección según el período de retorno
Tr - Período de retorno (años)
CD - Coeficiente de corrección según duración d de la tormenta
d - duración de la tormenta (horas)

$$P_{(d,Tr,p)} = P_{(3,10,p)} \cdot CT_{(Tr)} \cdot CD_{(d)} \quad [4]$$

Donde:

$P_{(d,Tr,p)}$ es la precipitación (mm), de duración d y período de retorno Tr, en el punto p.

$P_{(3,10,p)}$ es la precipitación de 3 horas de duración y 10 años de periodo de retorno en el punto (p), según Figura 4.

Luego de calcular el coeficiente de corrección según la duración de la tormenta (ecuaciones [2] y [3]) y el coeficiente de corrección para el período de retorno (ecuación [4]), el período de retorno es la única incógnita en la ecuación [1].

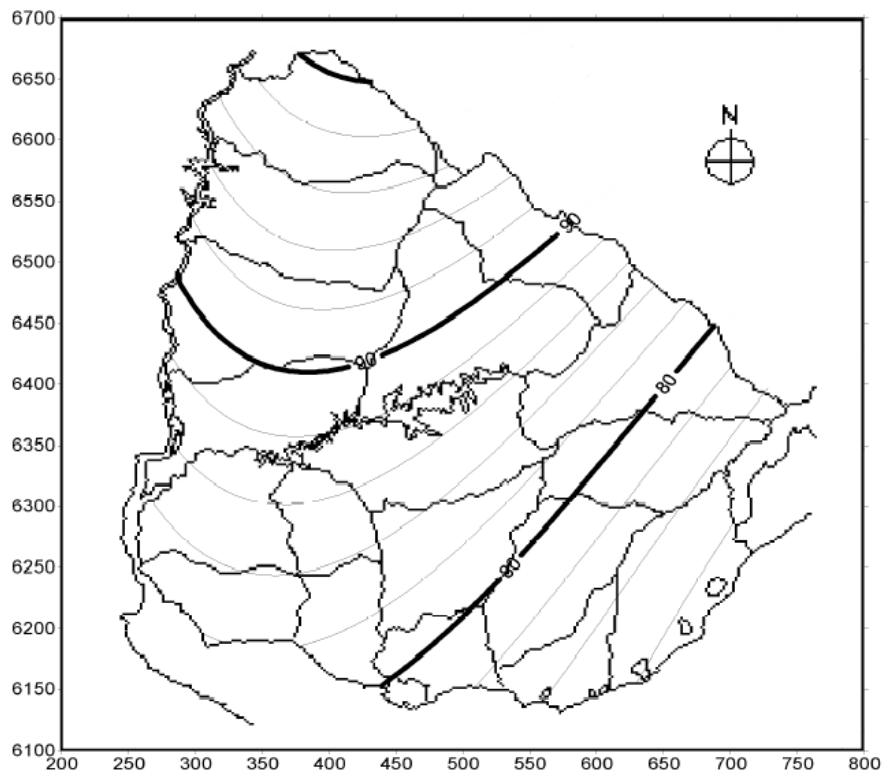


Figura 4.-Isoyetas de lluvias extremas en el Uruguay. Precipitación de 3 horas de Duración y 10 años de Período de Retorno. Fuente: Genta et al. (1998)

Procesamiento de datos

Los tc de campo se derivan del análisis de los hidrogramas y hietogramas de todos los eventos disponibles en ambas microcuencas, con una resolución de 5 minutos. De ellos, se seleccionaron los hidrogramas de los eventos que superaran los 25mm de precipitación, caracterizados por presentar un solo pico de caudal (Castiglioni et al, 2006). Estas condiciones las cumplen pocos episodios.

Se presenta a continuación, Figura 5, un hidrograma e hietograma correspondiente a una tormenta del 19 de noviembre del 2009, donde se determinó un tc de 10 minutos.

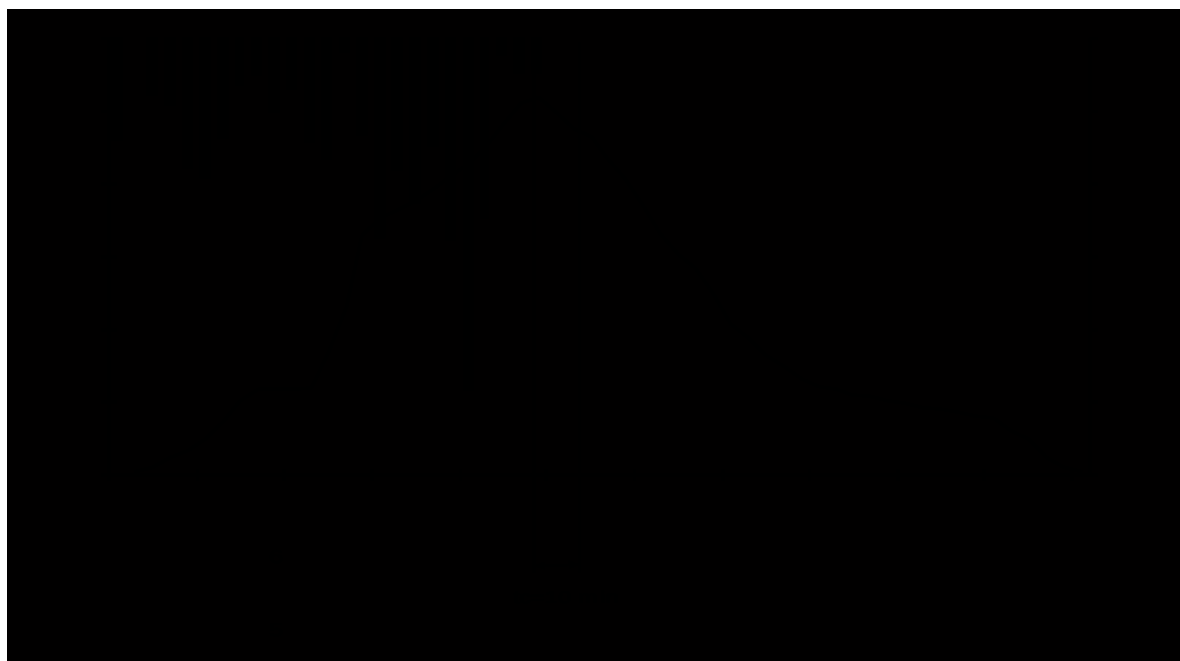


Figura 5.- Hidrograma y hietograma de una tormenta

Por otra parte, se determinaron los tc utilizando las ecuaciones de Kirpich (1940) [5], y la ecuación de Izzard (1946) [6], para las microcuencas estudiadas (Chow, 1994).

No se determinó el tc mediante el método de velocidad del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRSC) de los Estados Unidos (1975, 1986), mencionado, ya que éste método se aplica para flujo no concentrado y, de acuerdo a las características fisiográficas de ambas microcuencas, el flujo es concentrado.

Kirpich (1940): $tc = 0.3989L^{0.77}S^{-0.385}$ [5]

Tiempo (min)

tc = tiempo de concentración en horas
 L = longitud hidráulica de la cuenca en Km (mayor trayectoria de flujo)
 S = pendiente en %.

Izzard (1946): $tc = 526.74 \left(\frac{(0.0000276i + c)L^{1/3}}{S^{1/3}i^{2/3}} \right)$ [6]

tc = tiempo de concentración en minutos
 i = intensidad de lluvia, mm/h
 c = coeficiente de retardo, 0.06 para pasto
 L = longitud hidráulica de la cuenca, m
 S = pendiente m/m

La ecuación de Kirpich fue desarrollada para cuencas rurales con pendientes entre 3 y 10 % con flujo encauzado (Chow, 1994). Por ser una ecuación de pocos parámetros es muy sencilla de usar, está citada en la mayoría de la bibliografía revisada y es usada tanto en cuencas rurales como urbanas. Chow (1994) propone usarla en cuencas urbanas, proponiendo un coeficiente de corrección.

La ecuación propuesta por Izzard fue desarrollada experimentalmente en laboratorio, para flujos en caminos y áreas empastadas. Esta ecuación impone como restricción que el producto de la intensidad (mm/h) por la longitud de flujo (m) tiene que ser a menor a 3870, condición que no cumplen las microcuencas bajo estudio. No obstante, puesto que esta ecuación toma en cuenta las intensidades de lluvia, además de pendiente y longitud de flujo ya consideradas en la ecuación de Kirpich, se optó por utilizarla y comparar sus resultados con los tc observados.

RESULTADOS

En los datos disponibles se identificaron 31 eventos para la microcuenca forestal, de los cuales 17, que cumplían con las restricciones metodológicas, fueron utilizados para el análisis, mientras que para la microcuenca cubierta por pasturas los eventos hallados fueron 43, de los cuales se utilizaron 16. Los tc observados en la microcuenca forestal, variaron entre 10 y 150 minutos, y en la microcuenca cubierta por pasturas entre 10 y 140 minutos.

De acuerdo a la información histórica del país, se determinó el tiempo de retorno de los eventos disponibles, constatándose que, en su mayoría son de baja recurrencia. Se tienen 4 eventos con períodos de retorno superiores a 2 años, para la microcuenca forestal y 5 eventos con períodos de retorno mayores a 2 años para la microcuenca de pastura.

La representación gráfica de la relación entre periodos de retorno y tc observados en la microcuenca forestal (Figura 6), muestra que el tc disminuye a medida que aumenta el período de retorno, tendiendo hacia un valor asintótico menor al tc calculado por el método de Kirpich.

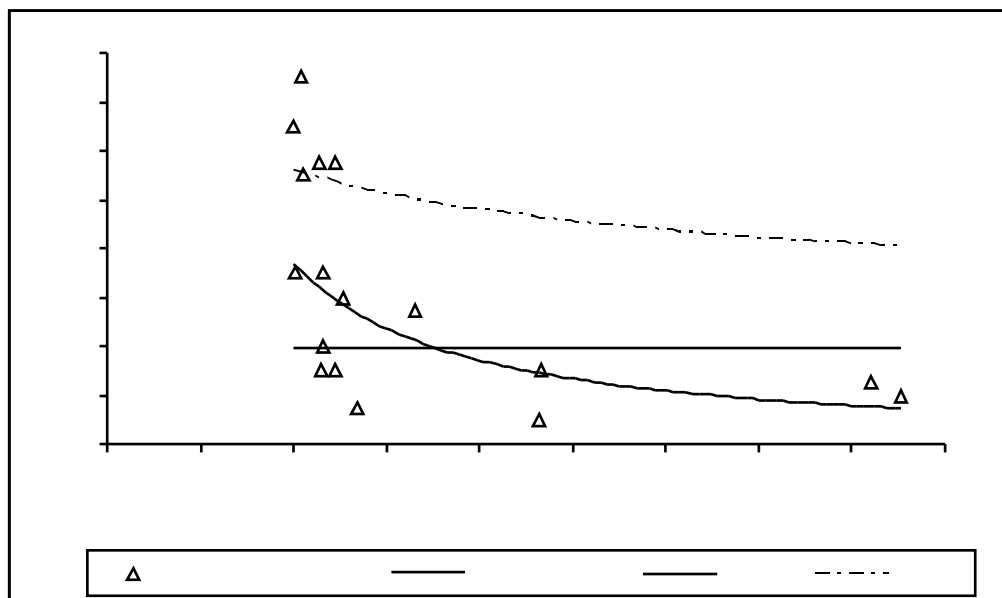


Figura 6.- Relación entre periodos de retorno y tiempos de concentración observados y calculados en la microcuenca forestal

En la microcuenca cubierta por pasturas naturales (Figura 7), se observa similar comportamiento que en la microcuenca forestal.

Si bien los cierres de las microcuencas fueron seleccionados de modo tener igual t_c , calculado según el método de Kirpich, los t_c observados en la microcuenca forestal son mayores que los observados en pasturas. Los residuos forestales existentes sobre la superficie del terreno probablemente expliquen un enlentecimiento del flujo superficial y, por lo tanto, un mayor t_c .

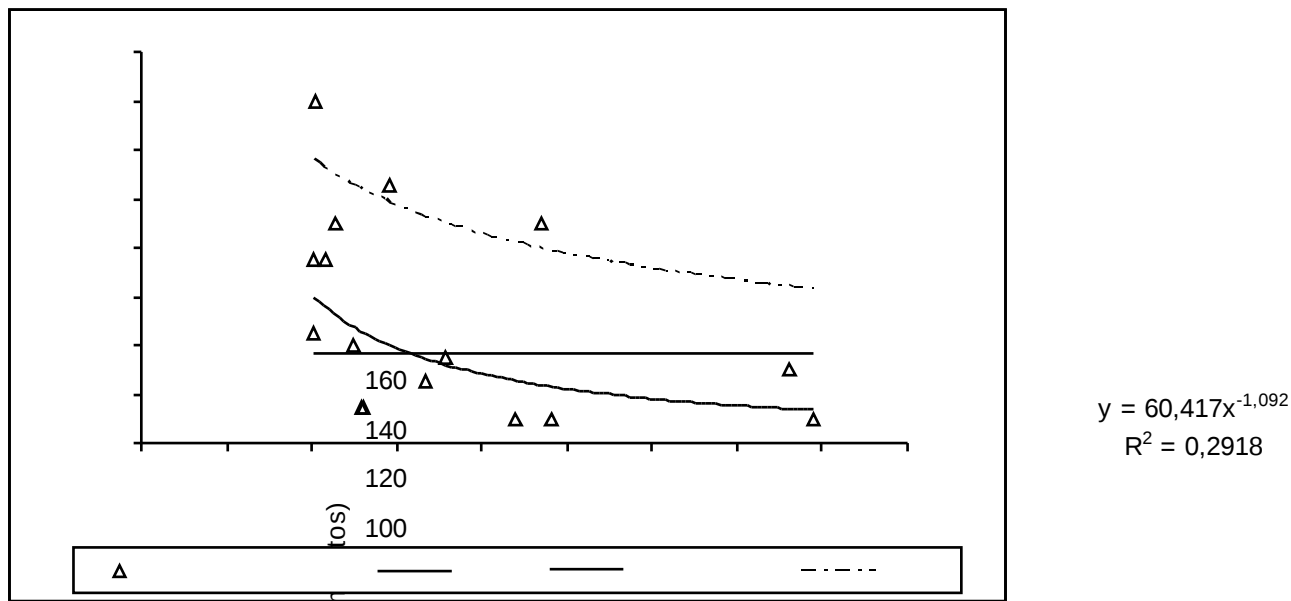


Figura 7.- Relación entre período de retorno y tiempos de concentración observados y calculados en la microcuenca cubierta por pasturas.

El método de Izzard, a diferencia del método de Kirpich, considera la intensidad de la lluvia y, por lo tanto, indirectamente su recurrencia. El resultado es un t_c variable con el período de retorno. Los t_c observados y la curva de Izzard muestran un comportamiento similar en las Figuras 6 y 7, tendiendo a valores asintóticos para períodos de retorno mayores a 2,5 años. No obstante, el método de Izzard sobreestima los valores de t_c en comparación con los observados. La sobreestimación es mayor en la microcuenca forestal que en pasturas, y esto es consistente con los datos descriptos en la metodología, ya que fue desarrollada para cuencas urbanas o empastadas.

La ecuación de Kirpich, subestima los t_c con periodos de retorno menores a 1,5 años para ambas microcuencas. No obstante, el método de Kirpich se aplica para el diseño de obras, es decir, para determinar el t_c para eventos extremos con recurrencias entre 15 a 100 años o más. Sin embargo, se observa que para períodos de retorno superiores a los 2,5 años, si bien el método de Kirpich sobreestima el t_c con respecto a los valores observados, éstos últimos tienden a un valor asintótico constante.

En la Figura 8 se sintetizan los resultados de las Figuras 6 y 7, representando las líneas de tendencia obtenidas para los tiempos de concentración observados en ambas microcuencas, en función del período de retorno, y se las compara con el tiempo de concentración calculado por la ecuación de Kirpich. Al considerar un rango común del período de retorno, entre 1 y 10 años, se observa que el tiempo de concentración disminuye, para ambas coberturas, a medida que crece el período de retorno.

Ambas curvas tienden hacia un valor asintótico, manteniendo un valor constante menor al estimado por la ecuación de Kirpich.

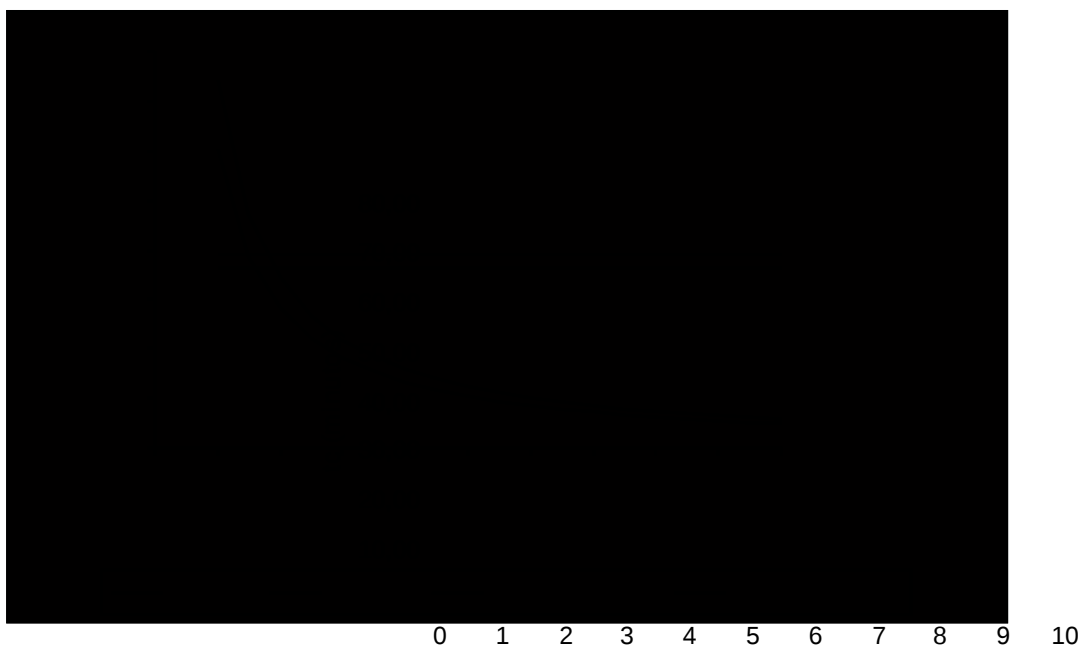


Figura 8.- Tiempos de concentración observados y calculados por Kirpich, para ambas microcuencas, en función del período de retorno

Forestal

Pastura

Kirpich Forestal

Kirpich Pastura

CONCLUSIONES

El análisis de los tiempos de concentración observados en una serie de eventos registrados en dos microcuencas con diferentes usos (plantación forestal – pasturas naturales para uso ganadero), muestra que el tiempo de concentración varía con el tiempo de retorno. En efecto, la representación gráfica muestra que el tiempo de concentración disminuye a medida que aumenta el período de retorno, tendiendo a un valor mínimo. Es decir, la respuesta de una cuenca a un evento, o la relación lluvia-caudal, para una misma duración del evento, depende de su recurrencia y, por lo tanto, de su intensidad. Por consiguiente, una cuenca no tiene igual respuesta (tiempo de concentración) para un evento de 10 y 100 mm, con una misma duración d.

La comparación entre los tiempos de concentración observados y los calculados con dos ecuaciones empíricas, Kirpich (1940) e Izzard (1946), muestra que: 1) Kirpich asume un valor constante del tiempo de concentración que se correspondería con los valores asintóticos constantes a los que tienden los valores observados a medida que crece el período de retorno, 2) Izzard toma en cuenta la intensidad de la lluvia, su t_c no es constante, mostrando la misma variabilidad con el período de retorno que los tiempos de concentración observados.

Los resultados obtenidos muestran que Kirpich e Izzard sobreestiman el t_c para tiempos de concentración mayores a 1,5 a 2 años. Asimismo, se observa que el tiempo de concentración observado es mayor en suelos cubiertos por plantaciones forestales que en pasturas naturales para uso ganadero. Esto probablemente se deba a la existencia de residuos forestales sobre la superficie del terreno, que enlentecen el escurrimiento superficial.

No obstante estas observaciones, debe señalarse que los eventos analizados son mayoritariamente de baja recurrencia, en virtud de que los datos disponibles corresponden al período Junio de 2006 a Diciembre de 2009, que se caracterizó por déficit de precipitaciones con relación a la media histórica, con excepción de los periodos Octubre de 2006 a Abril de 2007 y Diciembre 2009.

En general, para el diseño de obras hidráulicas, se requiere considerar tiempos de concentración entre 15 a 100 años o más, por lo que es recomendable continuar con el programa de monitoreo a efectos de monitorear eventos de mayor recurrencia, que permitan confirmar las observaciones realizadas en el presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS

La línea de investigación vinculada a los efectos de las plantaciones forestales sobre los recursos naturales aguas y suelos, comienza 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 BIBLIOGRÁFICAS

- Bell, F.C. y OM Kar, S.,(1969). "Characteristic response times in design flood estimation". *Journal of Hydrology* 8, 173-196, North Holland Publishing Co., Amsterdam
- Castiglioni, M.G., Chagas, C.I., Massobrio, M.J., Santanatoglia, O.J. y Buján, A. (2006). "Análisis de los escurrimientos de una microcuenca de Pampa Ondulada bajo diferentes sistemas de labranza". *CI Suelo Argentina* 24 (2) 169-176.
- Chow, V T (ed) (1994) *Hidrología aplicada* Mc Grow-Hill. Santa Fe, Bogotá
- Bondelid, T.R., McCuen, R.H., and Jackson, T.J.(1982). "Sensitivity of SCS models to curve number variation". *Water Resources Bull.* 20(2) 337-349.
- Genta, J.L., Charbonnier, F., & Rodriguez, A. (1998) "Precipitaciones máximas en el Uruguay". Congreso Nacional de Vialidad.
- Genta, J.L. y Failache, N. (2007). "Monitoreo y disponibilidad de Recursos Hídricos en el Uruguay". *Dirección Nacional de Agua y Saneamiento*, MVOTMA.
- Gupta, R.S. (1989). *Hydrology and Hydraulic Systems*, Prentice- Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Musy, A. & Laglaine, V. (1992). *Hidrologie Générale*. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Département de Génie Rural. Institut d'Aménagement des Terres et des Eaux.
- Pilgrim, D.H., (1966). "Radioactive tracing of storm runoff on a small catchment: I. experimental Technique". *Journal of Hydrology* 4, 306-326, North-Holland Publishing Co., Amsterdam
- Silveira, L., Genta, J.L., Charbonnier, F., Failache, N. y Alonso, J. (2000). "Directivas de diseño Hidrológico – Hidráulico de alcantarillas". *Proyecto CSIC Vinculación con el Sector Productivo y Convenio UdelaR – MTOP* Dirección de Vialidad.
- Tucci, C. (2000). *Hidrología, Ciência e aplicação*. Ed Universidade UFGS: ABRH.