

Comportamiento de la precipitación, intercepción y escurrimiento en una microcuenca de clima semiárido

Rainfall, interception and runoff behavior in a semiarid microbasin

Leonilo Santiago Hernández¹, Gerardo Núñez González¹, Miguel A. Domínguez Cortazar²

¹ Estudiantes del posgrado en Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro,

² Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

RESUMEN. Con el propósito de conocer la dinámica del proceso lluvia-escurrimiento en una cuenca natural de zona semiárida, se realizó el monitoreo de la precipitación y escurrimiento durante los periodos de lluvia de los años 2005 y 2006 en la microcuenca "La Barreta" ubicada en el Estado de Querétaro. De la misma manera, se midió la intercepción ocurrida durante cinco eventos de lluvia en el bosque de encinos *Quercus aff. castanea* presente en la microcuenca. En los resultados obtenidos puede observarse que el periodo de lluvias se desarrolla entre los meses de junio y octubre, y las láminas de precipitación oscilan entre 0.3 y 56.6 milímetros, presentando intensidades medias por evento menores a 6 mm/h. En cuanto a su duración se observó que ésta es muy variable ya que va desde los 10 hasta los 400 minutos. En el caso de los escurrimientos, estos presentaron gastos pico en un rango que va desde los 5 hasta los 1555 l/s, con un tiempo al pico entre 0 y 260 minutos, mientras que los volúmenes de escurrimiento ocurridos variaron entre 146 y 14,800 m³ con una tendencia a la ocurrencia de volúmenes menores a 2500 m³. En cuanto a la instrumentación utilizada se observó que la intercepción puede variar desde 0 hasta 80% de la precipitación incidente a nivel puntual, y entre 36 y 42% a nivel de cuadrante de muestreo.

Palabras clave: Precipitación, intercepción, escurrimiento, microcuenca, clima semiárido.

1. INTRODUCCIÓN

Los estudios hidrológicos se basan frecuentemente en cuencas experimentales donde se controlan las entradas (precipitación, principalmente) y las salidas (escurrimiento, evaporación, etc.), permitiendo valorar los efectos de diferentes escenarios y las relaciones existentes entre las variables involucradas (Serrano *et al.*, 2005). Las características climáticas, la litología, las pendientes y la cubierta vegetal explican gran parte de las diferencias de régimen hidrológico entre cuencas, aceptándose hoy en día que la vegetación y los usos del suelo son responsables en gran medida de la cantidad y la calidad de los recursos hídricos, y que los cambios que introduce el hombre provocan alteraciones muy rápidas en el régimen hidráulico y fluvial (Beguería *et al.*, 2003; Brown *et al.*, 2005; Viramontes *et al.*, 2006).

Las zonas áridas y semiáridas ocupan en la actualidad casi dos quintas partes de la superficie total de los continentes y representa la base para el desarrollo de más de mil millones de personas (Reynolds, 2001; citado por Maestre, 2002). Estas zonas se caracterizan por una alta variabilidad interanual en la cantidad y distribución de las precipitaciones y la presencia de lluvias torrenciales en cortos periodos de tiempo (De Luis, 2000; citado por Maestre, 2002; García, 2006), lo cual obliga a estudiar de forma detallada el funcionamiento hidrológico de las cuencas de este tipo de zonas, en donde juega un papel importante la precipitación, la intercepción y el escurrimiento.

El estado de Querétaro, por su ubicación en el parteaguas continental, su orografía, climatología y la confluencia de las regiones fisiográficas que comprende, tiene un alto nivel de fragmentación natural de sus ecosistemas. Adicionalmente, la presión sobre dichos ecosistemas es muy fuerte debido al crecimiento poblacional y al estado de desarrollo actual. Los recursos agua, suelo, así como los recursos forestales están muy deteriorados en la zona sur del estado y se encuentran bajo fuertes presiones en el área centro y norte (Domínguez, 2002). Por esta razón el presente trabajo tiene como objetivo estudiar el comportamiento hidrológico de la microcuenca La Barreta, ubicada en el Estado de Querétaro, a partir del monitoreo de variables como lo son la precipitación, la intercepción y el escurrimiento, las cuales serán la base para el desarrollo futuro de procesos de modelación relacionados con el papel que juega el bosque en procesos hidrológicos como la relación lluvia-escurrimiento.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La microcuenca “La Barreta” forma parte de la cuenca Santa Catarina, que se encuentra ubicada en la Delegación Santa Rosa Jáuregui en el municipio de Santiago de Querétaro. Se localiza en la parte Noroeste entre las coordenadas geográficas 20° 30' y 20° 54' de latitud Norte y 100° 17' y 100° 36' de longitud Oeste (Fig. 1). La microcuenca La Barreta se ubica también dentro de la región hidrológica número 12 Lerma-Chapala.

La microcuenca esta conformada principalmente por lomeríos y sierras. Litológicamente se compone de conglomerados, calizas, esquistos y de rocas ígneas extrusivas, siendo estas últimas las más predominantes. Las elevaciones extremas de la microcuenca son 2100 y 2600 msnm. El clima predominante es templado, semiseco; caracterizado por un verano cálido. La temperatura media es de 18°C. Los meses más calurosos son mayo y junio, con temperaturas máximas de 36°C y los más fríos son diciembre y enero que registran una temperatura mínima promedio de 3°C.

Dentro de la microcuenca se encuentran presentes fragmentos de seis tipos de vegetación, entre ellas, algunas de las áreas mejor conservadas de matorral *crasicaule* y bosque de encinos del municipio de Santiago de Querétaro. Se destaca la presencia de encinos *Quercus* aff. *Castanea* y *Quercus* aff. *laeta* en las partes más altas, formando un dosel de hasta 8 metros de altura. Las especies arbóreas asociadas son poco frecuentes y se pueden mencionar al tepozán (*Buddleja cordata*) y al granjeno (*Condalia mexicana*). Además, se pueden encontrar especies como el huizache chino (*Acacia schaffneri*), mezquite (*Prosopis laevigata*), tepehuaje (*Senna polyantha*), ocotillo (*Dodonaea viscosa*), maguey (*Agave salmiana*), nopal hartón (*Opuntia hyptiacantha*), biznaga de huamiche (*Ferocactus histrix*) y biznaga de chilitos (*Mammillaria magnimamma*), entre otras.

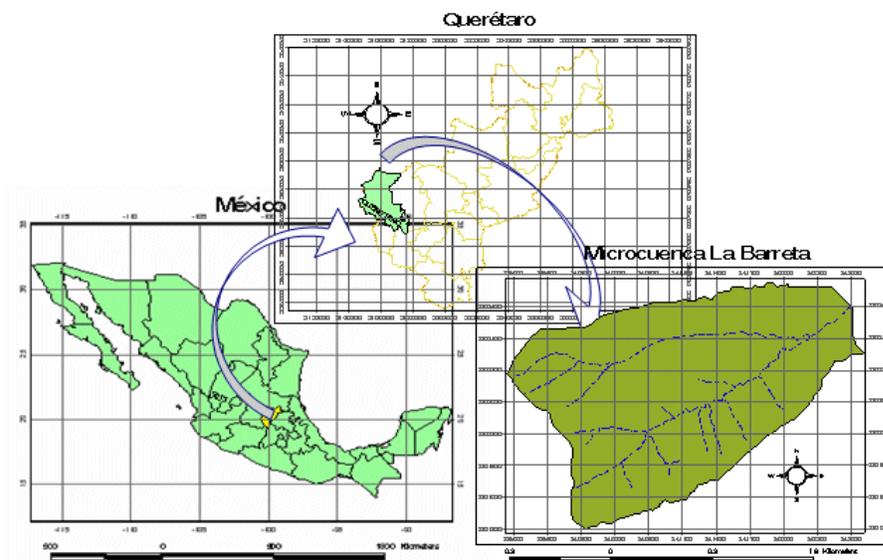


Fig. 1 Ubicación del área de estudio

2.2. Monitoreo de la precipitación, intercepción y escurrimiento

El monitoreo de la precipitación se realizó de manera continua desde el mes de julio de 2005 hasta el mes de septiembre de 2006 con intervalos de 10 minutos. Para ello, se instaló una red de 3 pluviógrafos digitales de flujo continuo de la marca WatchDog, los cuales mantuvieron un tiempo de operación sincronizado durante su funcionamiento.

Para el monitoreo del escurrimiento se construyó una obra de control la cual consiste de un vertedor compuesto del tipo triangular-rectangular. La sección triangular presenta una escotadura de 128°, una longitud de cresta de 3.0 m y un tirante máximo de 0.75 m, mientras que la sección rectangular tiene como características: 7.0 m de longitud de cresta y 1.10 m de tirante máximo. Además se instaló un sensor de niveles de la marca global water, modelo WL15X para registrar de forma automática los niveles del agua que pasa por la obra de control, y con ellos determinar de forma indirecta el tirante sobre el vertedor, y a partir de éste, calcular el gasto con las siguientes formulas:

Para la sección triangular (Aguilar, 2001):

$$Q = C_d * h^{5/2} \quad (1)$$

Donde: Q es el gasto o caudal (m^3/s), C_d el coeficiente de descarga y h la carga sobre la cresta del vertedor o tirante (m).

El coeficiente de descarga (C_d) se estimó a partir de la ecuación:

$$C_d = 2.3624 \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)\mu \quad (2)$$

Donde θ es el ángulo que forma la escotadura del vertedor y el coeficiente μ se estimó a partir de la siguiente ecuación:

$$\mu = 0.614769 - 1.336635 \times 10^{-3} \theta + 1.455492 \times 10^{-5} \theta^2 - 4.622593 \times 10^{-8} \theta^3 \quad (3)$$

Para la sección rectangular (Aparicio, 2005):

$$Q = 1.9 * l * h^{3/2} \quad (4)$$

Donde: Q es el gasto o caudal (m^3/s), l la longitud de la cresta del vertedor (m) y h la carga sobre la cresta del vertedor o tirante (m).

Para el monitoreo de la interceptación se utilizó la instrumentación realizada por Santiago (2006), la cual se enfoca en la medición y análisis de la interceptación de lluvia en un bosque de encinos de la microcuenca La Barreta. Para ello se seleccionó un área representativa de una hectárea de bosque de encino *Quercus aff. castanea*, la cual fue dividida en cuadrantes de 100 m² (10x10 m), las cuales fueron seleccionadas nueve de ellas, posteriormente se instalaron 10 pluviómetros tipo botella por cada cuadrante seleccionado (Wrage *et al.*, 1994) para el registro del Flujo de Traslocación. A partir de las mediciones del flujo de traslocación se determinó de forma indirecta la interceptación de la precipitación (Rutter, 1971) con la siguiente expresión:

$$I = P - (T + S) \quad (5)$$

Donde: I es la interceptación (mm), P la precipitación (mm), T es el flujo de traslocación (mm), y S es el flujo cortical (mm).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Precipitación

La lluvia es la principal variable que afecta tanto a los escurrimientos superficiales como a los subterráneos. Los mecanismos característicos de las lluvias en la microcuenca La Barreta son principalmente de dos tipos: convectivo, a nivel local, y orográfico a nivel regional.

El periodo de lluvias se desarrolla entre los meses de junio y octubre, siendo agosto el mes más lluvioso y julio el menos lluvioso. En la figura 2 se puede observar el comportamiento del periodo de lluvias de los años 2005 y 2006.

Se aprecia (Figura 2) que la cantidad de precipitación diaria oscila en un rango que va de 0.3 hasta 56.6 milímetros, lo cual demuestra que los eventos ocurridos son de magnitud variable, esto se ve reflejado en la lamina media mensual, la cual presenta variaciones de 1 hasta 10 milímetros. Sin embargo, esta variación, en la mayor parte de los casos es debida a eventos extremos, se observa que la mayor parte de los eventos (89% en 2005 y 85% en 2006) presentaron láminas menores a los 10 mm de lluvia. En cuanto a su duración, se observó que el 54% de los eventos registrados en el 2005 tuvieron una duración igual o menor a una hora, el 74% igual o menor a 2 horas y el 84% igual o menor a 3 horas. En el caso del año 2006 se observó que el 47% fue igual o menor a una hora, el 63% igual o menor a 2 horas y el 77% igual o menor a 3 horas, por lo tanto la duración característica de una tormenta en la microcuenca La Barreta puede ser definida entre una y tres horas.

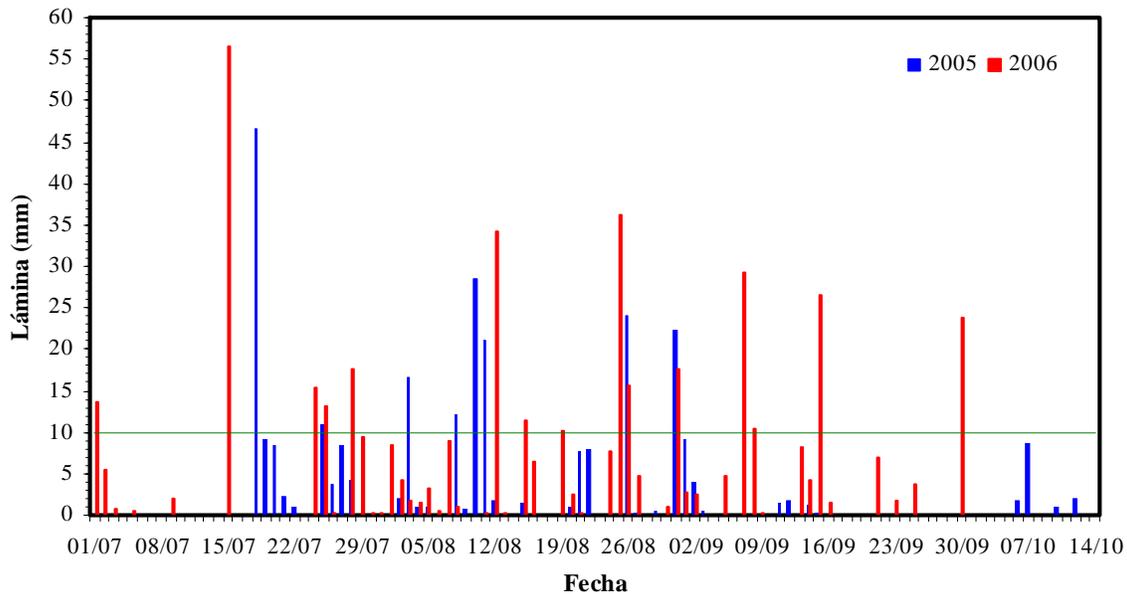


Fig. 2 Láminas de precipitación ocurridas durante los periodos de lluvia 2005 y 2006

A los registros de precipitación obtenidos durante los años 2005 y 2006 se les aplicó un análisis estadístico descriptivo básico, el cual consistió en determinar los valores mínimos y máximos registrados durante el periodo de lluvias de los dos años de monitoreo, así como su lamina media. Los resultados obtenidos de este análisis se muestran en la tabla 1 donde se aprecia que durante el 2005 el monitoreo no fue continuo en todos los pluviómetros utilizados, lo cual es debido a que éstos fueron instalados en diferentes fechas. Para el 2006 el monitoreo se realizó de manera continua a excepción del pluviómetro PV2 él cual por problemas de vandalismo dejo de funcionar.

Tabla 1 Estadística básica de los eventos de lluvia monitoreados

	PV1	PV2	PV3		PV1	PV2	PV3
<i>No. eventos reg.</i>	37	21	5	<i>No. eventos reg.</i>	49	ND	64
<i>Lamina total</i>	276.4	128.1	26.2	<i>Lamina total</i>	440.7		442.5
<i>Lamina mín.</i>	0.3	0.3	0.8	<i>Lamina mín.</i>	0.3		0.3
<i>Lamina máx.</i>	46.5	23.9	18.3	<i>Lamina máx.</i>	56.6		44.9
<i>Lamina media</i>	7.5	6.1	5.3	<i>Lamina media</i>	9.0		6.9
	2005				2006		

ND*.- No existen datos disponibles debido a problemas técnicos

Con respecto a la intensidad de la lluvia, se obtuvo el valor medio para cada uno de los eventos registrados. Se encontró que la intensidad media fue menor a 6 mm/h. Este resultado se registró en el 86% de los casos durante el año 2005 y en el 90% en el 2006. La intensidad más frecuente en los dos años monitoreados resultó de 2 mm/h, la cual es clasificada por la Organización Meteorológica Mundial como intensidad ligera. Por lo que toca a la distribución espacial de la precipitación, los resultados del monitoreo muestran que la lluvia no se distribuye de manera uniforme sobre toda la microcuenca y que el desarrollo de las tormentas sigue dos patrones bien definidos, los cuales marcan trayectorias Noreste-Suroeste y Norte-Suroeste tal como se observa en la figura 3.

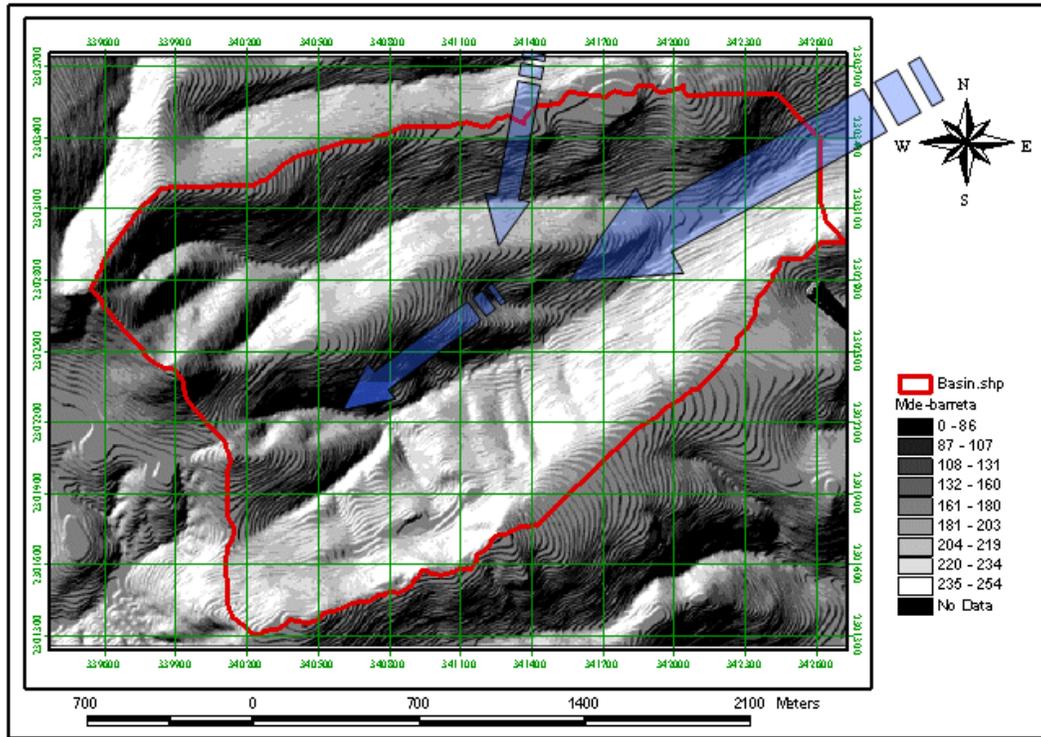


Fig. 3 Principales trayectorias de desarrollo de los eventos de lluvia

3.2 Intercepción

La intercepción se determinó de forma indirecta a partir de mediciones de la lluvia incidente (sobre la vegetación) y de la lluvia directa (bajo la vegetación). No se tomó en cuenta el escurrimiento fustal debido problemas presentados en la instrumentación. Se monitoreó la precipitación directa en cinco eventos de lluvia de diferente magnitud, en ellos se observó que la cantidad de lluvia interceptada en las unidades de muestreo y para cada una de las condiciones de vegetación existentes, presentó una alta variación a nivel de punto de muestreo.

Tabla 2 Resumen de la intercepción registrada durante los eventos de lluvia monitoreados

Cuadrante	Lamina interceptada (mm)					Cuadrante	Lamina interceptada (mm)				
14B	E1	E2	E3	E4	E5	8B	E1	E2	E3	E4	E5
<i>Mín.</i>	0	0.51	0	0	0	<i>Mín.</i>	0.09	0.89	0.25	4.19	0
<i>Máx.</i>	0.84	2.02	11.13	11.10	15.31	<i>Máx.</i>	1.22	1.93	6.12	11.38	13.89
<i>Media</i>	0.20	1.30	4.63	5.62	4.26	<i>Media</i>	0.73	1.57	4.32	6.58	3.95
<i>Lámina incidente</i>	1.6	2.4	13.5	14.6	29.5	<i>Lámina incidente</i>	1.6	2.4	13.5	14.6	29.5

a) Estrato bajo

b) Estrato bajo

Cuadrante	Lamina interceptada (mm)				
22B	E1	E2	E3	E4	E5
Mín.	0	0.98	0	2.77	0
Máx.	1.03	2.02	10.19	11.76	3.95
Media	0.66	1.58	4.69	6.87	1.17
Lámina incidente	1.6	2.4	13.5	14.6	29.5

c) Estrato bajo

Cuadrante	Lamina interceptada (mm)				
8M	E1	E2	E3	E4	E5
Mín.	0	0.70	0	0	0
Máx.	1.41	2.02	12.74	8.92	5.37
Media	0.89	1.49	4.87	5.01	1.24
Lámina incidente	1.6	2.4	13.5	14.6	29.5

d) Estrato medio

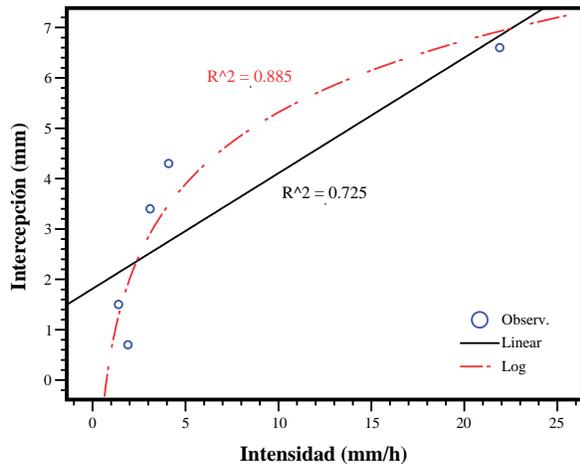
Cuadrante	Lamina interceptada (mm)				
22M	E1	E2	E3	E4	E5
Mín.	0	0.98	0	0.12	0
Máx.	1.41	2.12	8.20	10.34	7.74
Media	0.71	1.52	2.73	4.74	1.70
Lámina incidente	1.6	2.4	13.5	14.6	29.5

e) Estrato medio

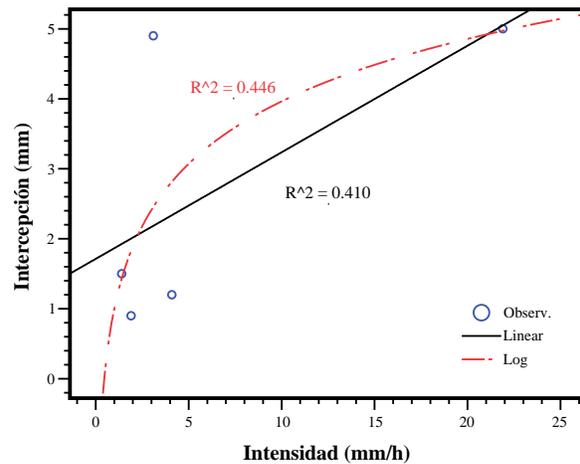
Cuadrante	Lamina interceptada (mm)				
22A	E1	E2	E3	E4	E5
Mín.	0.09	1.17	0	4.66	0
Máx.	1.22	1.93	5.93	8.45	11.99
Media	0.74	1.50	3.41	6.64	4.34
Lámina incidente	1.6	2.4	13.5	14.6	29.5

f) Estrato alto

A partir de los datos de intercepción registrados, se hizo un análisis de correlación entre la intensidad de la lluvia, la lámina de precipitación incidente, y la duración del evento con respecto a la intercepción; obteniendo resultados favorables en los dos primeros casos, mientras que la relación entre la duración del evento y la intercepción no fue clara. En el caso de la relación intensidad-intercepción se observó un ajuste de tipo logarítmico tal como se muestra en la figura 4 donde se presentan los casos de mejor y peor ajuste obtenidos para esta relación. El ajuste precipitación-intercepción observado fue de tipo lineal; encontrando en todos los casos que el evento 5 (E5) presentó un comportamiento anormal con respecto a los demás eventos, de tal manera que al excluir su valor en el análisis el ajuste mejoro significativamente como puede ser observado en la figura 5.



a) Mejor ajuste



b) Peor ajuste

Fig. 4 Relación existente entre la intensidad de la lluvia y la lámina interceptada

3.3 Esguerrimiento

Con los registros del tirante de agua obtenidos en la obra de control se calcularon los gastos instantáneos en la salida de la microcuenca utilizando las ecuaciones 1 y 4 descritas en la metodología del presente trabajo. De los cálculos

realizados se puede observar que el total de eventos que presentaron escurrimiento durante el periodo de monitoreo fueron diecisiete, los cuales presentaron una gran variación en cuanto a su magnitud y a su gasto pico.

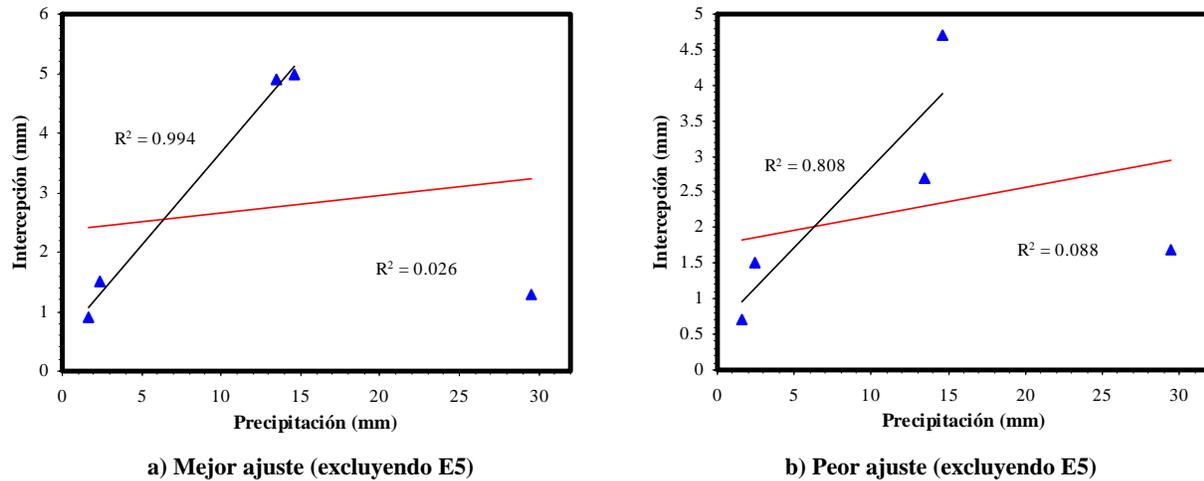


Fig. 5 Relación existente entre la precipitación incidente y la lámina interceptada

En la tabla 3 se presenta un resumen de los eventos con escurrimiento registrados durante el periodo de monitoreo. En ella se puede observar que el gasto pico osciló en un rango que va de 5.47 a 1555.29 l/s y el volumen escurrido entre 146.62 y 14,807.98 m³, en tanto que el tiempo pico del hidrograma ocurrió entre los 10 y 260 minutos. De la misma manera, podemos apreciar que durante los dos años de monitoreo, los escurrimientos se presentaron durante los meses de julio, agosto y septiembre principalmente. Debido a que gran parte de los gastos registrados fueron pequeños (74% < 200 l/s), se decidió utilizar como unidad base para expresar esta variable, los litros por segundo (l/s).

De la figura 6 se dedujo que los escurrimientos producidos por la microcuenca son de baja magnitud, ya que en el 70 % de los casos, los volúmenes de escurrimiento fueron menores a 2500 m³; así mismo, el régimen de los escurrimientos es muy variado pero con una tendencia a la ocurrencia de gastos instantáneos menores a los 500 l/s, lo cual en parte puede ser explicado por las condiciones climáticas presentes en la microcuenca, donde al igual que en otras zonas semiáridas las lluvias son pequeñas y no uniformes.

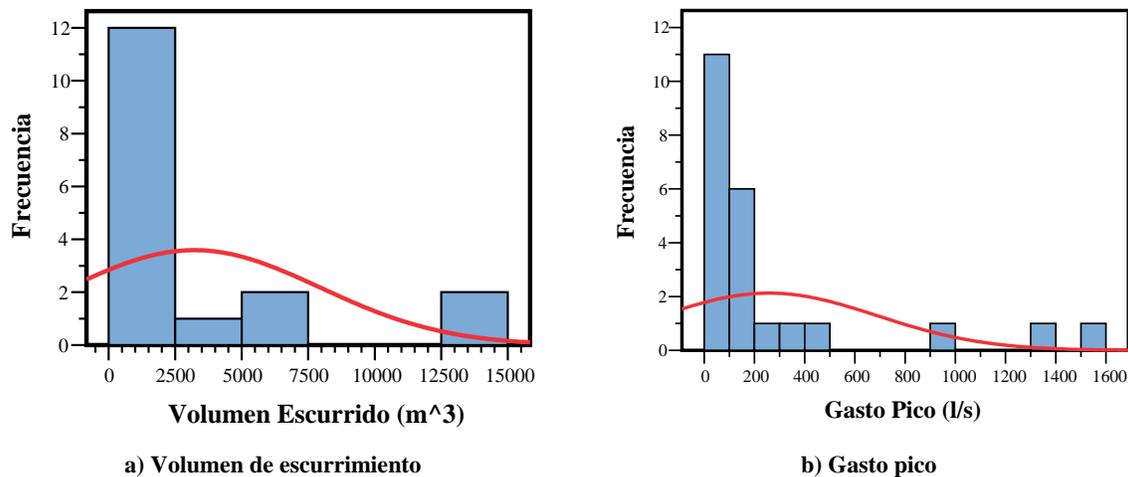


Fig. 6 Frecuencia de los eventos de escurrimiento ocurridos durante el periodo de monitoreo

De acuerdo a la magnitud de su gasto pico, los escurrimientos fueron agrupados en tres clases para analizar su comportamiento: 1) los que presentaron un gasto pico menor a 100 l/s, 2) los que presentaron gastos pico entre 100 y 200 l/s y 3) los que presentaron un gasto pico mayor a 200 l/s. Los eventos del primer grupo se caracterizaron por producir volúmenes de escurrimiento en un rango que va de 146.62 a 1,426.36 m³, mientras que en el segundo y tercer grupo se pueden observar volúmenes de escurrimiento que van de los 1,800 hasta los 14,800 m³. Con excepción del evento ocurrido el 26 de agosto de 2005.

Tabla 3 Resumen de los eventos de escurrimiento registrados en la obra de control instalada en la microcuenca La Barreta

# evento	Fecha	Vol. Esc. (m ³)		Q _{max} (l/s)	Q _{med} (l/s)	T pico (min)
1	18-Jul-05	1827.86	a	174.28	56.02	30
			b	311.27		10
2	19-Jul-05	2394.99	a	259.53	50.61	10
			b	124.34		20
3	27-Jul-05	173.04	a	5.47	2.35	90
			b	6.69		260
4	08-Ago-05	338.12		65.42	8.68	20
5	10-Ago-05	6765.81		981.29	90.18	50
6	11-Ago-05	3623.44	a	107.13	55.11	60
			b	118.44		30
			c	107.13		20
7	12-Ago-05	14807.98		1330.78	85.33	30
8	26-Ago-05	200.27		108.51	16.38	20
9	31-Ago-05	157.05	a	12.76	3.08	40
			b	11.29		20
10	15-Jul-06	6875.53		1555.29	225.88	60
11	31-Jul-06	219.01		33.29	5.21	50
12	02-Ago-06	146.62		14.96	3.40	30
13	12-Sep-06	393.16		12.19	5.61	90
14	13-Sep-06	1227.63		67.98	14.95	70
15	14-Sep-06	13955.03		424.22	37.01	160
16	20-Sep-06	256.25		7.91	2.67	90
17	29-Sep-06	1426.36		83.53	22.37	70
	Mínimo	146.62		5.47	2.35	10
	Máximo	14807.98		1555.29	225.88	260
	Media	3222.83		299.38	48.06	64
	Desv. Estándar	4721.90		430.84	55.96	56.40

4. CONCLUSIONES

La precipitación de la microcuenca La Barreta se caracterizó por la ocurrencia general de eventos de baja magnitud, sin descartar por esto, la presencia de eventos extremos. Así mismo, la distribución espacial de la lluvia no fue uniforme durante la mayor parte de los eventos. Lo cual de acuerdo con García (2006) es característico de los climas semiáridos.

En el caso del escurrimiento, éste se presenta de forma intermitente. Es decir, que las corrientes sólo transportan agua durante el periodo de lluvias, una vez que el déficit de humedad del suelo ha sido satisfecho, razón

por la cual los escurrimientos no inician a la par del periodo de lluvias. La respuesta de la cuenca es rápida y la magnitud de los eventos ocurridos en general es baja, siendo influenciada directamente por la condición de humedad antecedente a cada uno de los eventos de escurrimiento.

Por lo que toca a la interceptación, es necesario continuar con el monitoreo de la misma, ya que los resultados de cinco eventos no son suficientes para definir el comportamiento de la interceptación del bosque de encinos de la microcuenca, así mismo, es necesario tomar en cuenta el comportamiento de este proceso en la vegetación tipo matorral la cual cubre gran parte de la microcuenca.

Como puede observarse en el desarrollo del presente trabajo, el objetivo no es explicar la causalidad del régimen hidrológico presente en la microcuenca La Barreta. Sino más bien, presentar parte del trabajo que se desarrolla en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Autónoma de Querétaro; él cual, si bien pudiera parecer sencillo; es sin embargo la base para el desarrollo y calibración de modelos hidrológicos. Lo cual resulta de singular importancia en nuestro país, donde la información de origen hidrometeorológica es escasa (Avila *et al.*, 2002; Carriozosa y Domínguez, 2002) debido al costo elevado que implica instrumentar las cuencas y mantener en operación la infraestructura.

5. AGRADECIMIENTOS

Los primeros autores desean agradecer el apoyo otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) para la realización de sus estudios de maestría. Así como a la Dirección de posgrado de Ingeniería y al Laboratorio de Hidráulica por todas las facilidades otorgadas para la realización del presente trabajo.

6. REFERENCIAS

- Aguilar Ch.A., 2001, Serie autodidacta de medición: Vertedores, Comisión Nacional del Agua-Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.
- Aparicio M.F.J., 2005, Fundamentos de hidrología de superficie, Limusa-Noriega Editores, México.
- Ávila L.A.A. Mendoza F.J.E. y de Luna C.F., 2002, Aplicaciones del hidrograma unitario geomorfológico en la cuenca baja del Grijalva, XVII Congreso Nacional de Hidráulica, Monterrey N.L., 563-574, México.
- Beguería P.S. López-Moreno J.I. Lorente A. Seeger M. y García-Ruiz J.M., 2003, Assessing the effect of climate oscillations and land-use changes on streamflow in the central Spanish Pyrenees, *Ambio* 32: 283-286.
- Brown A. Zhang L. McMahon T.A. Western A.W. y Vertessy R.A., 2005, A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation, *Journal of Hydrology* 310: 28-61.
- Carriozosa E.E. y Domínguez M.R., 2002, Análisis regional de gastos en cuencas del Pacífico-Centro Validación, XVII Congreso Nacional de Hidráulica, Monterrey N.L., 545-550, México.
- Dominguez C.M.A., 2002, Contribución al diseño de un plan estatal de manejo de cuencas forestales, protocolo de investigación para fondo sectorial CONACYT-CONAFOR.
- García O.E.M., 2006, Efecto de la estructura de la copa en la partición de lluvia de tres especies arbustivas en clima semiárido, Tesis doctoral, Universidad de Almería, España.

- Maestre G.F.T., 2002, La restauración de la cubierta vegetal en zonas semiáridas en función del patrón espacial de factores bióticos y abióticos, Tesis doctoral, Universidad de Alicante, España.
- Rutter A., Kershaw K., Robins P., Morton A., 1971, "A predictive model of rainfall interception in forest. I. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine". *Agric. For Meteorology.*, 9.
- Santiago H.L., 2006, Medición y análisis de la intercepción de lluvia en el bosque de encinos de la microcuenca La Barreta, Protocolo de tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro, Mexico.
- Serrano M.M.P. Regüés J.D. Latron J. Martí B.C. Lana-Renault N. y Nadal R.E., 2005, Respuesta hidrológica de una cuenca forestal en la montaña media Pirenaica: el caso de San Salvador, *Cuadernos de Investigación Geográfica* 31: 59-76.
- Viramontes D. Descroix L. y Bollery A., 2006, Variables de suelos determinantes del escurrimiento y la erosión en un sector de la Sierra Madre Occidental, *Ingeniería Hidráulica en México XXI(1)*: 73-83.
- Wrage K.J. Gartner F.R. y Butler J.L., 1994, Inexpensive rain gauges constructed from recyclable 2-liter plastic soft drink bottles, *Journal of Range Management* 47(3): 249-250.