



CUANTIFICACIÓN DE ESCURRIMIENTOS Y SEDIMENTOS EN DOS MICROCUENCAS DE LA CUENCA DEL LAGO DE PÁTZCUARO

Pedro Rivera Ruiz^{1*}; José Javier Ramírez Luna¹

¹ Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos. C.P. 62550

privera@tlaloc.imta.mx – (777) 3293600 Ext. 151 (*Autor de correspondencia)

Resumen

Se cuantificaron los escurrimientos y los sedimentos para evaluar la relación lluvia-escurrimiento-producción de sedimentos en dos microcuencas de la cuenca del Lago de Pátzcuaro. Las microcuencas evaluadas fueron Ichupio (101.94 ha y CON obras y prácticas conservacionista) y Malacate (149.25 ha y SIN obras y prácticas conservacionista), ambas microcuencas presentan un uso de suelo predominantemente forestal (74 al 79%) con áreas de pastizal (11 al 18%) y agricultura (1 al 3%). Se cuantificaron la lámina precipitada en 778.8 y 767.6 mm en las microcuencas Ichupio y Malacate, respectivamente. En cuanto a eventos de escurrimiento se presentaron cinco eventos en la microcuenca Ichupio que generó 3,505.71 m³ de agua y 11.50 toneladas de sedimentos lo que indica una degradación específica de 112.80 kg/ha; por su parte, en la microcuenca Malacate se presentaron 13 eventos de escurrimiento que totalizaron 34,846.26 m³ de agua y una producción de sedimentos de 238.21 toneladas que resulta en una degradación específica de 1,596.13 kg/ha. Se presenta un análisis de cada evento donde se determina la influencia sobre el escurrimiento de la cantidad e intensidad de la lluvia y el contenido de humedad antecedente en el suelo, y de cómo éstos a su vez, influyen en las láminas escurridas y en los escurrimientos máximos, lo anterior relacionado y analizado de acuerdo con los escenarios de manejo de cada microcuenca. Se complementa con la evaluación de los impactos ambientales que se logra con el establecimiento de acciones conservacionistas en una microcuenca.

Palabras claves: escurrimiento, sedimentos, microcuenca.



Introducción

Los estudios en cuencas hidrográficas con propósito múltiple han sido preocupación de innumerables investigadores, aunando esfuerzos para resolver grandes interrogantes sobre las diferentes relaciones que se presentan dentro de estos ecosistemas naturales. Los hidrólogos han venido investigando la relación entre la vegetación y los diferentes fenómenos hidrológicos superficiales y subsuperficiales ligados al balance hídrico.

Muchos de los estudios se han realizado en cuencas experimentales con diferentes coberturas simultáneas, otros en parcelas con una sola cobertura, también para evaluar los efectos del establecimiento de obras y prácticas conservacionistas; también se han propagado las investigaciones en cuencas pareadas en las cuales se han seleccionado diferentes períodos de calibración y utilizado distintos sistemas de intervención o grados de alteración de la cobertura vegetal.

Todos estos estudios han tenido como objetivo central, evaluar los beneficios de las coberturas en términos de rendimiento de agua producida a través del tiempo y además en términos económicos. Otros estudios han pretendido evaluar las sustituciones de usos de la tierra en sus diferentes etapas de establecimiento, desde el punto de vista de los impactos causados y las relaciones costo-beneficio para las comunidades ubicadas en las cuencas.

En México se han realizado pocos estudios puntuales en el tiempo sobre cuencas hidrográficas, en lo que se trate de cuantificar por ejemplo, el comportamiento de los escurrimientos y sedimentos debido a diferentes coberturas vegetales, o por el efecto del establecimiento de obras y prácticas conservacionistas. Ante esta deficiencia en la investigación, es que la Subcoordinación de Conservación de Cuencas y Servicios Ambientales del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) decidió implementar en dos microcuencas que se instrumentaron para cuantificar la lluvia y el escurrimiento para medir las variables que intervienen en el balance hídrico y también tomar muestras de escurrimiento para cuantificar sedimentos. Se seleccionaron dos microcuencas características de la cuenca del Lago de Pátzcuaro para utilizar la metodología de las microcuencas pareadas, una de ellas es la microcuenca Ichupio que es la que tiene obras y prácticas conservacionistas y la otra es la microcuenca Malacate, que es la que no tiene obras y prácticas conservacionistas. El objetivo final de esta línea de investigación consiste en el establecimiento de un proyecto que evalúe el efecto de las obras y prácticas conservacionistas al conocer la variación del rendimiento hídrico a mediano y largo plazo con respecto a otra microcuenca donde no se ha tenido intervención conservacionista.

Hatton et al. (2002), mencionan que el tiempo que tarda un ecosistema en responder a los programas de manejo varía dependiendo de la escala en la que se da este manejo. Así, por ejemplo, el impacto de la deforestación sobre el régimen hidrológico de una cuenca puede observarse en unos cuantos años si se trata de

una microcuenca. Sin embargo, tratándose de una cuenca, los efectos de la deforestación pueden tomar varios años en manifestarse.

Para estimar o cuantificar los impactos del efecto que tiene las prácticas conservacionistas sobre el rendimiento hídrico y la producción de sedimentos, se ha empleado tradicionalmente la metodología de cuencas pareadas (Bruijnzeel y Vertessy, 2004; Best et al., 2003), según la cual es posible medir el efecto de los tratamientos en una de ellas y compararlo con la respuesta de la otra que actúa como testigo.

Materiales y Métodos

Ubicación de las microcuencas

Se seleccionaron dos microcuencas, una de ellas corresponde a la microcuenca de evaluación para este caso donde se han establecido prácticas y obras conservacionistas (Ichupio con 101.94 ha). La otra es la microcuenca “testigo” que corresponde a la microcuenca donde no se han realizado acciones y obras conservacionistas (Malacate con 149.25 ha). En la Figura 1 se presenta la ubicación de las microcuencas pareadas, están en el municipio de Tizintzuntzan en la cuenca del Lago de Pátzcuaro.

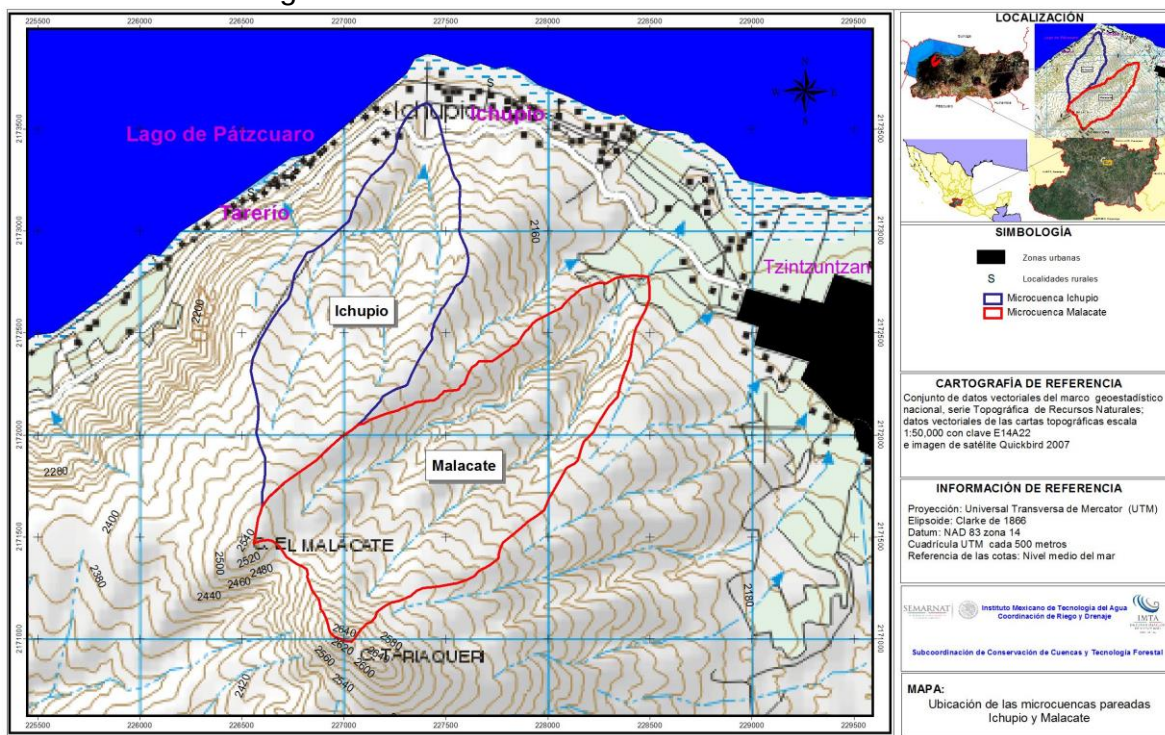


Figura 1. Ubicación de las microcuencas Ichupio y Malacate.

En ambas microcuencas la categoría de uso de suelo predominante es la forestal (del 74 al 79% de la superficie), con áreas de pastizal (11 al 18%) y agricultura (1 al 3%).

Instrumentación

La instrumentación de las microcuencas consiste en la instalación de pluviómetros digitales para la medición de la precipitación y la construcción de un aforador de garganta larga (Figura 2) equipado con un sensor ultrasónico (Figura 3) para registrar la información de carga o nivel y el gasto (escurrimiento superficial) que se presenta en las microcuencas.



Figura 2. Aforador de garganta larga para medición de los escurrimientos en las microcuencas.

Medición de sedimentos

Durante el periodo de lluvia se estuvieron “cazando” las lluvias, y de aquellos eventos de lluvia que generaron escurrimiento superficial se estuvieron tomando muestras de agua del escurrimiento en el transecto del canal antes de llegar a la zona de medición.

La toma de muestra se realizó cada 10 minutos, y se inicia la toma de muestras inmediatamente después de que comienza el escurrimiento y se finaliza hasta que prácticamente deja de escurrir en el canal. Posteriormente, mediante el filtrado y secado de muestras en laboratorio se cuantificaron los sedimentos en cada muestra.



Figura 3. Medidor con sensor ultrasónico para el registro de los escurrimientos.

Resultados y Discusión

Análisis de la medición de lluvia

En la Figura 4 se presenta gráficamente la precipitación mensual que se registró en las microcuencas Ichupio y Malacate durante el 2016.

Durante el periodo de evaluación se cuantificaron 778.8 mm de lluvia en la microcuenca Ichupio y 767.6 mm en la microcuenca Malacate, es decir, solamente 11.20 mm de diferencia entre ambas microcuencas.

Analizando la información a más detalle se llegó a encontrar que se presenta escurrimiento en lluvias que superan los 10 mm al día pero siempre y cuando existan antecedentes de precipitación de los 5 días previos que totalicen más de 30 mm. Sin embargo en lluvias mayores a 25 mm es seguro que se presente el escurrimiento si existen antecedentes de precipitación de los 5 días previos que totalicen más de 15 mm.

Caso particular en los eventos de escurrimiento que se presentaron en la microcuenca Ichupio, ya que las condiciones para que se presentara el escurrimiento tuvieron que ser el que se presentarán lluvias que durante el evento totalizaron más de 25 mm y que tuvieran como antecedente en los 5 días previos una lluvia total de más de 35 mm.

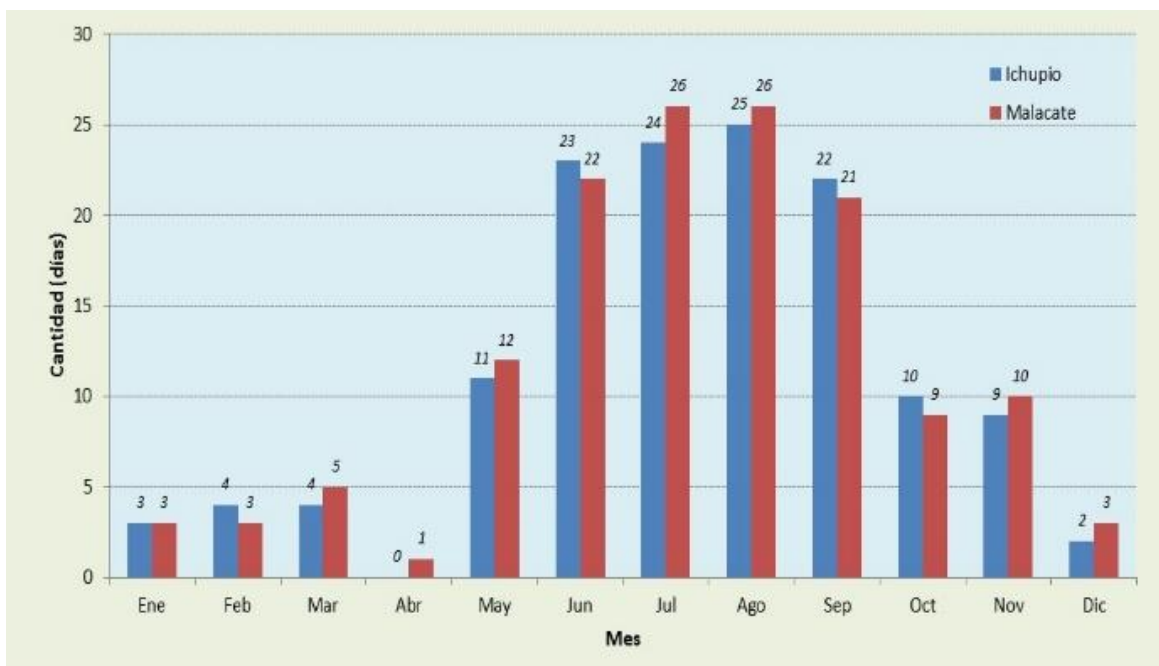


Figura 4. Precipitación mensual registrada en las microcuencas Ichupio y Malacate durante el 2016.

Análisis de la producción de sedimentos y evaluación de los efectos de las obras y prácticas conservacionistas

Para realizar la evaluación e identificar el efecto que causan en la producción de escurrimientos y sedimentos las obras y prácticas conservacionistas, es necesario hacer un análisis conjunto de la información por evento que se presentó, y también por supuesto, analizarlo de manera global con los totales obtenidos.

En las Tablas 1 y 2 se presentan los resultados de las variables cuantificadas por evento que se presentó en el 2016 en ambas microcuencas.

La microcuenca Ichupio presenta un caudal total anual mucho menor que el registrado en la microcuenca Malacate. En primer lugar, además de tener una mayor superficie la microcuenca Malacate, fue la que presentó los mayores escurrimientos máximos, lo que derivó en presentarse un mayor caudal, aunado a que en su área de captación de la microcuenca no existen obras ni prácticas conservacionistas. Una particularidad observada, es que en la microcuenca Ichupio se presentaron las mayores cantidades de precipitación por evento comparados con los registrados en la microcuenca Malacate y debido a que tiene en su cuenca de captación las obras y prácticas conservacionistas, fue que no se presentaron más eventos de escurrimiento.



Tabla 1. Degradación específica, producción de sedimentos, escurrimientos y precipitación para la microcuenca Malacate (*SIN prácticas de conservación*) en el 2016.

Fecha	Precipitación del evento (mm)	Escurrimiento (mm)	Escurrimiento máximo (m³/s)	Volumen (l)	Concentración media de sedimentos (g/l)	Producción de sedimentos (kg)
07-may-16	25.0	0.901	446.32	1,344,789	3.88	5,217.78
18-jun-16	18.2	0.447	301.63	667,115	2.86	1,907.95
22-jun-16	16.8	1.008	477.75	1,504,168	3.25	4,888.55
25-jul-16	11.2	0.727	365.34	1,084,308	3.48	3,773.39
27-jul-16	17.4	1.259	441.78	1,879,050	6.73	12,646.01
27-28-jul-16	25.4	5.099	1,602.81	7,609,313	7.46	56,765.47
29-jul-16	10.6	0.153	81.63	228,202	2.12	483.79
01-ago-16	13.2	2.166	879.85	3,233,277	6.48	20,951.63
03-ago-16	11.8	0.132	65.86	197,121	8.98	1,770.15
04-ago-16	8.2	1.128	560.27	1,683,388	5.61	9,443.81
12-13-ago-16	18.6	7.552	1,829.56	11,271,193	8.74	98,510.23
28-29-sep-16	16.6	1.366	473.09	2,038,272	4.85	9,885.62
06-oct-16	7.0	1.411	603.89	2,106,060	5.68	11,962.42
Total	200.0	23.349		34,846,256		238,206.79

Volumen: 34,846.26 m³, Producción de sedimentos: 238.21 t, Degradación específica: 1,596.13 kg/ha.

Tabla 2. Cuantificación de la producción de escurrimientos y sedimentos por evento, y degradación específica evaluada en la microcuenca Ichupio (*CON obras y prácticas de conservación*) en el 2016.

Fecha	Precipitación del evento (mm)	Escurrimiento (mm)	Escurrimiento máximo (l/s)	Volumen (l)	Concentración media de sedimentos (g/l)	Producción de sedimentos (kg)
28-jul-16	30.0	0.003	16.03	2,876	0.84	2.42
01-ago-16	16.4	0.817	627.94	832,440	2.43	2,022.83
12-13-ago-16	30.0	1.610	675.20	1,641,740	4.73	7,765.43
17-ago-16	26.0	0.471	150.70	479,931	1.87	897.47
28-sep-16	27.0	0.538	189.82	548,727	1.48	812.12



Total	129.40	3.44		3,505,714		11,500.26
--------------	---------------	-------------	--	------------------	--	------------------

Volumen: 3,505.71 m³, Producción de sedimentos: 11.50 t, Degradación específica: 112.80 kg/ha.

Un dato importante a mencionar es que la microcuenca Malacate tiene una pendiente media en su área de aportación mayor (32.18%) que la de la microcuenca Ichupio (29.75%).

En cuanto a los escurrimientos superficiales, se obtuvo un coeficiente de escurrimiento de 0.1167 para los eventos de lluvia evaluados en la microcuenca Malacate, y de 0.0266 para la microcuenca Ichupio. Y es que en la microcuenca Malacate de los 200.0 mm de lluvia de los eventos estudiados, solamente 23.35 mm se transformaron en escurrimiento. Y por su parte, en la microcuenca Ichupio fueron 129.4 mm de lluvia y 3.44 mm que se transformaron en escurrimiento. Con ello entonces se determina que la eficiencia de las obras y prácticas conservacionistas establecidas en la cuenca fue de 85.27% para control de los escurrimientos (comparando los datos obtenidos en ambas microcuencas).

Por supuesto que en lo referente a la producción de sedimentos se tuvo una respuesta similar a la encontrada en la de producción de escurrimientos, ya que en general, en la microcuenca Malacate se encontraron las mayores concentraciones de sedimentos en los muestreos que se realizaron, aunado a que se presentaron mayores volúmenes de escurrimiento es que se tuvieron mayores pérdidas de suelo que se transportaron en el agua de escurrimiento. Finalmente, se obtuvo una producción de sedimentos de 238.21 toneladas en la microcuenca Malacate (que no tiene manejo conservacionista), y lo contrario se cuantificó en la microcuenca Ichupio (con manejo conservacionista) ya que se cuantificaron 11.50 toneladas de sedimentos que “salieron” de la microcuenca. Esto nos lleva a obtener otro parámetro que es la degradación específica, que para la microcuenca Malacate fue de 1.59 t/ha (1,596.13 kg/ha), y para la microcuenca Ichupio fue de 0.11 t/ha (112.80 kg/ha), es decir, por efecto de las obras y prácticas conservacionistas se logró reducir en 92.93% la salida de sedimentos de la cuenca, o en otras palabras, prácticamente fue mínima la erosión hídrica.

Es importante recalcar, que los datos presentados, corresponden a la investigación realizada durante un año, y lo recomendable es continuar con el registro de información en por lo menos otros 4 años más para tener conclusiones más sustentadas, y será hasta entonces en que las tendencias que se obtendrán se apegarán más a la realidad para comprender la relación lluvia-escurrimiento-erosión en las microcuencas pareadas tipo de la cuenca del Lago de Pátzcuaro. Para entonces, se podrá comparar estadísticamente los rendimientos hídricos y la producción de sedimentos asociados con las dos microcuencas, y se practicarán transformaciones matemáticas apropiadas para las variables de forma que se obtenga una tendencia estadística aceptable.



Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos se pueden mencionar que la eficiencia para el control de los escurrimientos superficiales fue de 85.27% debido al efecto de las obras y prácticas conservacionistas establecidas en la microcuenca Ichupio, y por tanto la lluvia que precipita en la microcuenca se “queda” en el sistema cuenca como infiltración, humedad del suelo, aprovechamiento de humedad, recarga de acuífero, etc. Una similar tendencia se observó en la producción de sedimentos donde la eficiencia fue mejor con 92.93%. En la microcuenca Malacate se presentaron los mayores escurrimientos máximos, así como, las mayores láminas de escurrimiento. La misma tendencia se observó en los contenidos promedio de sedimentos en las muestras de agua de un litro que se analizaron, ya que el contenido en gr/l por muestra fue mayor en las muestras de escurrimientos.

Referencias Bibliográficas

- Best, A., Zhang, I., McMahon, T., Western, A. y Vertessy, R. (2003). A critical review of paired catchments studies with reference to seasonal flows and climatic variability. Murray-Darling Basin Commission and CSIRO, Canberra. 56 pp.
- Bruijnzeel, L. A. and Vertessy, R.A. (2004). Impacts of forest management on streamflow. En: Burley, J., J. Evans J.Y. Quist (Eds.) Encyclopedia of Forest Science. Elsevier, The Netherlands. pp. 358-366
- Hatton, T., P. Reggiani and G. Hodgson. (2002). The role of trees in the water salt balances of catchments. Stirzaker, R., R. Vertessy y A. Sarre (eds). Trees, Water and Salt: an Australian Guide to Using Trees for Healthy Catchments and Productive Farms. Joint Venture Agroforestry Program and CSIRO, Australia. Pp 28-42.