

Relaciones ente uso de suelo, crecidas, producción y transporte de sedimentos en la cuenca del río Sordo, Veracruz.

Domínguez Pérez Carlos Alejandro
Instituto de Ecología A.C. - Universidad Veracruzana
Xalapa, Veracruz, México
lucasfuzz@gmail.com

Introducción

Los servicios ambientales son los beneficios que las sociedades humanas obtienen de los ecosistemas debido a las interacciones entre especies y su medio físico (Balverna, 2012). En este marco podemos resaltar la importancia de los servicios ambientales hidrológicos, estos son los beneficios producidos a las personas por efectos de los ecosistemas sobre el agua dulce (Braumman *et al.*, 2012).

En este sentido se puede decir que cualquier ecosistema presta servicios hidrológicos aunque en diferentes grados (Allan, 2004); sin embargo la vegetación es uno de los factores más importantes en lo que se refiere a la provisión de servicios, resaltando la importancia de los bosques en la generación de estos pues su estructura y atributos son capaces de ofrecer una alta variedad y cantidad de beneficios (Manson, 2004).

Estos ecosistemas tienen la capacidad de regular las inundaciones, pues el balance entre los distintos componentes del ciclo del agua en una región está dado entre la evapotranspiración, la infiltración y el agua que queda libre para escurrir. Las coberturas boscosas favorecen la infiltración y presentan mayores tasas de evapotranspiración dejando menos agua libre para escurrirse, lo que genera una regulación en los flujos pico de los ríos reduciendo la probabilidad de inundaciones (Pell *et al.*, 2010).

Aunado a esto, las estructuras boscosas forman una barrera física capaz de retener el agua y recargar los acuíferos subterráneos; la raíces de los arboles forman medios de contención que evitan la erosión del suelo, reduciendo el arrastre de los suelos, evitando el azolve de las presas y los cuerpos de agua (CEMDA, 2006).

Por otra parte es necesario resaltar el papel de la vegetación secundaria en la provisión de servicios ambientales. Este tipo de vegetación puede ser un indicador de un proceso de degradación por factores naturales o antrópicos o bien puede deberse a un proceso de recuperación natural como en el caso de las tierras de cultivo abandonadas, en cualquiera de los casos resulta de suma importancia en la dinámica funcional de las cuencas. (Cuevas *et al.*, 2010)

Además se debe considerar el papel de la vegetación riparia y la implementación de zonas de amortiguamiento de cada lado de los cauces de los ríos. Las zonas de amortiguamiento son franjas que conservan la vegetación original u algún otro tipo de vegetación incorporada al paisaje y que tienen la finalidad de mejorar algunos procesos eco-hidrológicos y proveer de bienes y servicios (Bentrup, 2008).

Autores como (Silva y Williams, 2001 y Mokondoko, 2010) han encontrado efectos positivos de las zonas de amortiguamiento sobre diferentes parámetros de calidad del agua entre los que se encuentran la cantidad de sólidos suspendidos totales.

Pese a todos los servicios ambientales ofrecidos por la vegetación a diferentes escalas de paisaje, ya sea a nivel de cuenca o en zonas de amortiguamiento la falta de valoración aunado a diferentes factores sociales ha propiciado el cambio de uso de suelo amenazando la provisión de los servicios anteriormente descritos.

La reconversión de áreas boscosas por superficies impermeables en zonas urbanas provoca un aumento en la escorrentía superficial y con ésta un incremento en la capacidad erosiva (Bruinjzell, 2004; Elliot *et al.*, 2009) llevando una mayor cantidad de sedimentos a los cauces, provocando el azolve de éstos, la contaminación del agua además de una reducción en el flujo base por falta de recarga de los acuíferos (Vidal y Romero, 2010).

Como medida a la falta de valoración de los servicios que proveen los ecosistemas se han planteado la generación de programas de pago por servicios ambientales hidrológicos; estos buscan la valoración económica de los servicios provistos por los bosques para favorecer su conservación. Para la planeación de los programas de pago por servicios ambientales se deben considerar los servicios a ofrecer, encontrar un mercado potencial, los posibles provisos del servicio, conocer de manera detallada el funcionamiento del ecosistema en el que se propone ofertar servicios ambientales hidrológicos y finalmente la gestión y organización de políticas públicas que den como resultado el funcionamiento de estos programas (Mass y Cotler, 2007).

En este sentido es necesario resaltar el papel de la información científica en el conocimiento de los proceso eco-hidrológicos. En el caso de la de producción de sedimentos y el proceso de escorrentía es necesario conocer variables como como uso de suelo y vegetación, tipo de suelo, pendiente del terreno y precipitación y cantidad de sólidos suspendidos que se mueven por los ríos (García-Chevesich, 2010).

Por esta razón la medición de sedimentos resulta de suma importancia en el presente estudio. Sin embargo la medición de esta variable de esta variable resulta más compleja de lo que se plantea en un principio, pues no existe una unificación de criterios para establecer un sistema dinámico del transporte de sólidos en el flujo de agua y que pueda explicar los mecanismos de transporte de manera clara (Rivera *et al.*, 2005).

Otro factor a tomar en cuenta es el hecho de que el levantamiento de datos de caudal se debe efectuar de manera simultánea a los de transporte de sedimento ya que este problema debe tratarse como un flujo bifásico, en el cual se debe considerar la medición de la corriente de manera simultánea con la medición de gasto sólido (Rivera *et al.*, 2005).

Objetivos

- Diseñar construir y probar un instrumento de bajo costo que nos permita hacer mediciones sobre el transporte de sedimentos durante los flujos pico en ríos de bajo orden.
- Describir las relaciones entre diferentes usos de suelo y vegetación y su respuesta en la producción de sedimentos y flujos pico.
- Resaltar la importancia de los bosques y vegetación en zonas riparias en la provisión de servicios ambientales en este caso retención de sedimentos y reducción del riesgo por inundaciones.

Zona de estudio

El presente estudio fue realizado en la cuenca del río Sordo el cual se encuentra entre las coordenadas 19° 29' 37" y 19° 29' 97" latitud Norte, y entre 97° 00' 54" y 96° 55' 97" longitud Oeste, su elevación va de los 1980 msnm a los 1093 msnm; abarca un total de 70.1 km² y tiene una longitud de 22.5 km (Carrión 2012). En esta cuenca se pueden encontrar dos tipos de climas: Templado húmedo en la parte norte y noroeste y semicálido húmedo en la región centro y sur (INEGI, 2010); el tipo de suelo dominante es Andisol Húmico con pequeños espacios de Feozem Haplico (CONABIO, 2008).

El uso de suelo y vegetación es muy heterogéneo en la zona de estudio donde se puede encontrar en mayor medida Bosque Secundario (cafetales de sombra incluidos) seguido por cultivos agrícolas, zonas urbanas, bosque primario y pastizales (Figura 1).

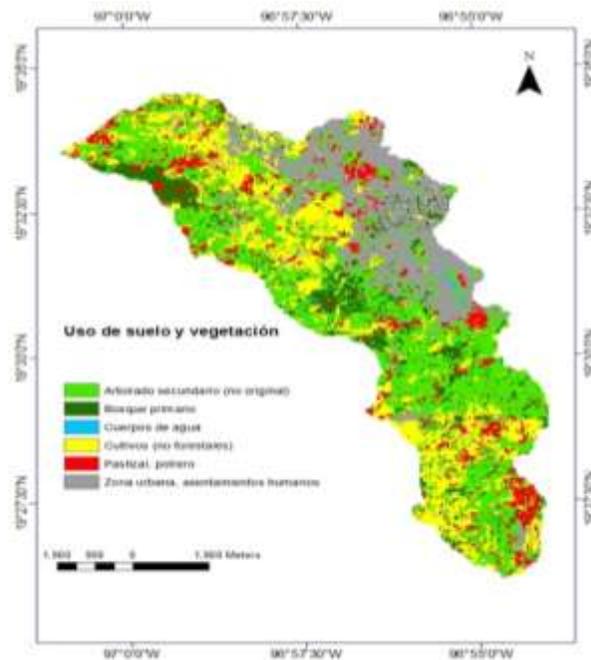


Figura 1. Mapa de uso de suelo y vegetación de la cuenca del río Sordo. Carrión, 2012)

Metodología

La obtención de las variables necesarias para el presente estudio se puede agrupar en los siguientes bloques:

- 1) Análisis con sistemas de información geográfica: (selección de puntos de muestreo, creación de zonas de amortiguamiento, cálculo de precipitación promedio por tormenta) y obtención de la pendiente del terreno.
- 2) Obtención de muestras de sólidos suspendidos totales.
- 3) Pruebas estadísticas: Regresiones lineales, regresiones múltiples por el método de pasos sucesivos (stepwise) y análisis de componentes principales.

1) Con base en el mapa de uso de suelo y vegetación para la cuenca del río Sordo generado por Carrión, 2012 agrupado en cinco diferentes categorías que son Bosque Primario, Bosque Secundario, Cultivos, pastizales y Zonas Urbanas se seleccionaron cinco puntos de muestreo en función del uso de suelo dominante en cada microcuenca. De esta manera se escogieron dos puntos con mayor proporción de bosque secundario, dos más con prevalencia de zonas urbanas y uno donde predomina bosque primario. Una vez obtenidos estos puntos y con ayuda de la herramienta *buffer del Spatial Analysis* del Software Arc Gis 10.0 se crearon zonas de amortiguamiento de 50 y 100 metros de cada lado del cauce según lo propuesto por Allan, 2004. Posteriormente se realizó un clip con el mismo paquete computacional para unir las zonas de amortiguamiento y el mapa de uso de suelo para calcular los porcentajes de uso de suelo y vegetación en las proximidades a los ríos muestreados.

Además se se calculó la precipitación promedio por microcuenca de cinco tormentas las cuales fueron registradas un día previo a la recolección de datos de sólidos suspendidos totales en campo. Para tal fin se utilizaron los registros de precipitación por día de siete estaciones climatológicas dentro y próximas al área de estudio que están tanto de cargo de CONAGUA, INIFAP y una más proporcionada por el Dr. Daniel Geissert investigador del INECOL A.C. El cálculo de precipitación promedio se realizó por el método de isoyetas (ecuación 1) y el trazado de las mismas fue hecho en SIG utilizando el método de interpolación de distancia inversa ponderada IDW.

$$P = \frac{\sum_{j=1}^m [(P_j + P_{j+1})/2] \cdot A_j}{\sum_{j=1}^m A_j} \dots (1)$$

Donde, P_j es el valor de la isoyeta j ; P_{j+1} es el valor de la isoyeta $j+1$; A_j , el área entre dos isoyetas y m , es el número de isoyetas (Aparicio, 1991).

Una variable más obtenida gracias a los registros de precipitación fue la cantidad de lluvia por área de influencia con base al hecho que un milímetro de precipitación en un metro cuadrado corresponde a un litro de agua (Fount, 2000). La cantidad de lluvia se obtiene por medio de la ecuación 2:

$$CL = P * A \dots (2)$$

Donde CL es cantidad de lluvia en el área de influencia de los puntos de muestreo en litros (l), P es la precipitación en l/ y A es el área de la zona de influencia de los puntos de muestreo en m^2 .

Para obtener la pendiente del terreno se utilizó un modelo de elevación digital obtenido a partir de la carta digital de curvas de nivel 1:50000 (INEGI, 2010), y con le herramienta *slope* del programa Arc Gis 10.0.

2) Para la obtención de datos de sólidos suspendidos totales se instalaron torres basadas en un diseño propuesto por la FAO, 1997 (Figura 2), el cual consta de una estructura metálica con botellas de 500 ml. a diferentes alturas la cuales son llenadas una vez que exista un aumento en los ríos. Este proceso se repitió en cinco ocasiones tras el paso del mismo número de precipitaciones que ejercieron respuesta en los puntos de muestreo seleccionados dentro del periodo de mayo a septiembre de 2012.



Figura 2. Torre utilizada para la toma progresiva de datos en un aumento de nivel. Modificado de FAO, 1997, a) presenta el diseño inicial y b) muestra la torre instalada en un punto de recolección de datos (Pacho Viejo, Coa.).

Una vez recolectadas las muestras en campo estas fueron llevadas a laboratorio de la red ecología Funcional del INECOL A.C. para su tratamiento; este consistió en vaciar el contenido de la muestra en recipientes de aluminio previamente pesados y someterlos a un proceso de secado durante 24 horas a 105°C, para ser pesados nuevamente y obtener la concentración de sólidos suspendidos totales por medio de la ecuación 3:

$$SST = \frac{Pd - Pa}{V} \dots (3)$$

Donde Pd es el peso en gr del recipiente de aluminio después de evaporar el agua de la muestra; Pa, es el peso en gr del recipiente de aluminio antes de añadir la muestra; V es el volumen, utilizado en litros. (Deutsh *et al.*, 2005)

El nivel máximo alcanzado por los afluentes se registró como la última botella llena e la torre.

3) Una vez obtenidas las variables necesarias para el presente estudio se realizaron las pruebas estadísticas necesarias, las cuales consistieron en regresiones entre los diferentes tipos de uso de suelo a diferentes escalas contra la concentración de sólidos suspendidos totales y altura máxima alcanzada por el río.

Asimismo se realizaron regresiones múltiples por el método de pasos sucesivos (stepwise) en el que se incluyeron datos de pendiente del terreno, cantidad de lluvia y porcentajes de uso de suelo y vegetación en los que las variables dependientes fueron la concentración de sólidos en suspensión y el nivel máximo del río.

Para la determinación de la escala de paisaje que más influye sobre las variables de respuesta, como primer paso se realizó un análisis de componentes principales. Este análisis tiene como función agrupar una cantidad de n variables (en este caso usos de suelo) para disminuir la cantidad de variables independientes en torno a componentes principales (se recomienda utilizar los primeros dos factores) Peña (2002).

Posteriormente se extraen las coordenadas de los factores (factor scores) de los dos primeros componentes de cada escala y se introducen en un modelo de regresión múltiple por el método de pasos sucesivos. En el primer modelo la variable dependiente fue la altura máxima y en la segunda regresión la concentración de sólidos suspendidos totales. Las variables retenidas por

el modelo de regresión determina que escala de paisaje tiene mayor influencia en las variables de respuesta (Vilar, 2006). Los análisis descritos anteriormente se realizaron con los programas SPSS 20.0 y XL-STAT 2013.

Resultados

Se presentan los resultados de las regresiones entre uso de suelo contra cantidad de sólidos suspendidos totales (Tabla 1). En esta se puede destacar una relación inversa entre el bosque secundario ($r=-0.54$ a nivel de microcuenca) contra la variable de respuesta. Esto es, mayores extensiones de bosque secundario se asocian con menores concentraciones de sólidos suspendidos totales. Por otra parte son los pastizales a nivel en las zonas de amortiguamiento de 100 metros ($r=0.48$) y zonas urbanas quienes presentan relaciones positivas con la concentración de sólidos en suspensión (0.43 y 0.42 en la zona de amortiguamiento de 50 metros y a nivel de microcuenca respectivamente).

Tabla 1. Relaciones entre uso de suelo y vegetación contra sólidos suspendidos totales

Escala	BP	BS	CUL	PAS	ZU
SST (gr/l)					
Buffer 50 metros	0.15	** -0.51	-0.16	-0.26	*0.43
Buffer 100 metros	0.01	** -0.51	-0.21	*0.48	*0.43
Área de inf.	0.02	* -0.54	-0.09	-0.14	*0.42

*La correlación es significativa al nivel de 0.05

** La correlación es significativa al nivel de 0.01

En cuanto a las relaciones entre el nivel máximo alcanzado por los ríos contra los usos de suelo y vegetación (Tabla 2) se puede mencionar que son las zonas urbanas quienes presentan asociaciones positivas con el nivel máximo de los afluentes de lo que se puede inferir que en cuencas con altos grados de urbanización los ríos presentan un mayor flujo, por pérdida en la capacidad de infiltración aumentando el escurrimiento.

Sin embargo contrario a lo esperado no son las coberturas boscosas quienes presentan la relación negativa más fuerte con el nivel máximo de los ríos, si no los cultivos. Este resultado puede ser producto de la omisión de otras variables que influyen en el proceso de la escorrentía, una de estas es la pendiente del terreno la cual según Mokondoko, 2010 tiene un peso de 40% en el proceso de infiltración. Se hace esta mención ya que los cultivos en esta zona son principalmente de caña de azúcar quienes forzosamente se deben establecer en terrenos con pendientes poco pronunciadas logrando una mayor infiltración y menor escurrimiento.

Tabla 2. Relaciones entre uso de suelo y nivel máximo de los ríos.

Escala	BP	BS	CUL	PAS	ZU
Altura máx.					
Buffer 50 metros	0.24	*-0.47	** -0.64	** -0.71	**0.76
Buffer 100 metros	-0.44	*-0.48	** -0.69	**0.64	**0.77
Área de inf.	-0.33	*-0.44	** -0.52	*-0.41	**0.77

*La correlación es significativa al nivel de 0.05

** La correlación es significativa al nivel de 0.01.

Como resultado de los modelos de regresión múltiple en los que se incluyeron los datos de cantidad de lluvia, pendiente del terreno y porcentajes de uso de suelo y vegetación para que en su conjunto determinasen la concentración de sólidos en suspensión y el nivel máximo del río se obtuvo que las variables retenidas fueron únicamente las asociadas a los usos de suelo zonas urbanas en el caso de nivel máximo del agua ($r=0.77$ $p=0.01$ en las tres escalas) y el bosque secundario en el caso de la concentración de sólidos en suspensión ($r=-0.51$ $p=0.09$ en ambas zonas de amortiguamiento). Los resultados son expuestos en la Tabla 3.

Tabla 3 Resultados del modelo de regresión múltiple por el método de pasos sucesivos a diferentes escalas.

Parámetro	Variable retenida	r	p
Buffer 50 metros			
Sólidos suspendidos totales	BS	-0.51	0.009
Altura máxima	ZU	0.77	0.001
Buffer 100 metros			
Sólidos suspendidos totales	BS	-0.51	0.009
Altura máxima	ZU	0.77	0.001
Area de influencia			
Sólidos suspendidos totales	BS	-0.54	0.05
Altura máxima	ZU	0.77	0.001

Sin embargo surge la cuestión sobre la razón que este análisis solo incluyese a los usos de suelo dejando de lado el resto de factores que influyen tanto en el proceso de generación de escorrentía como en el de generación de sedimentos.

Se plantea que, si bien un aumento en el flujo máximo provee de un mayor transporte de sólidos suspendidos totales, la cantidad de sedimentos que se encuentran en los cauces no son producto un solo evento de precipitación y que han llegado a los ríos producto de un proceso más más largo en el que la variable que permanece constante es el uso de suelo y vegetación.

Por otra parte el hecho que el uso de suelo es el factor que registra mayor asociación con las crecidas, dejando de lado la precipitación o cantidad de lluvia caída sobre la cuenca puede ser producto de que no se incluyeron elementos como intensidad de lluvia, o humedad previa del suelo (este último va cambiando a lo largo de la temporada de lluvia); pues estos elementos son muy importantes en la respuesta de los ríos.

Para la determinación de la escala de paisaje como primer paso se muestran los resultados de los análisis de componentes principales en los que se agruparon a los diferentes usos de suelo para reducir las variables asociadas con estos.

La zona de amortiguamiento de 50 metros los primeros dos factores explican el 99.37% de la varianza en los datos. El primer factor esta positivamente con cultivos y pastizales y de manera inversa con zonas urbanas, mientras que el segundo factor está relacionado con el bosque secundario y negativamente con el bosque primario (Figura 3 a).

En la zona de amortiguamiento los primeros dos factores explican el 73.49% de la varianza en los datos asociando el primer factor con cultivos y pastizales y negativamente con zonas urbanas; el segundo factor está relacionado con el bosque secundario (Figura 3 b).

A nivel de microcuencia los primeros dos factores explican el 98.78% de la varianza en los datos, en los que el primer factor está relacionado de manera positiva con las zonas urbanas y de manera inversa con los cultivos, mientras que el factor dos se encuentra asociado positivamente con el bosque primario y de manera negativa con el bosque secundario (Figura 3 c).

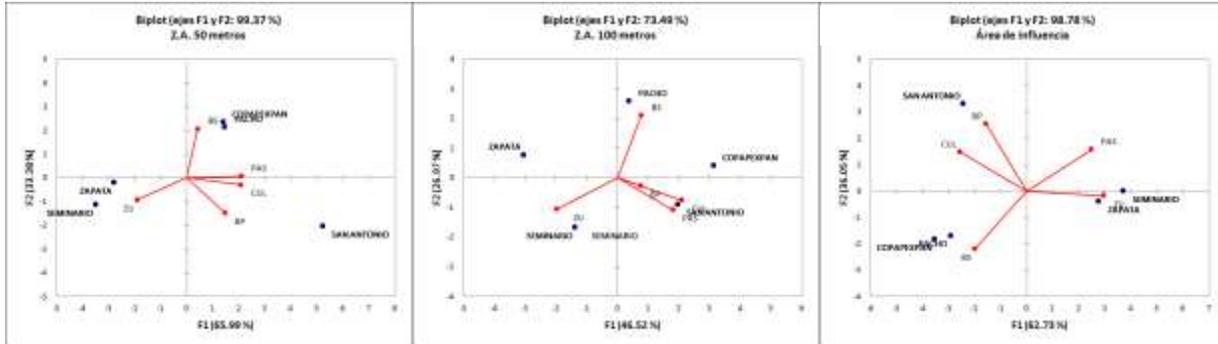


Figura 3. Gráficas biplot con los resultados del análisis de componentes principales a) Zona de amortiguamiento de 50 metros b) Zona de amortiguamiento de 100 metros c) Área de influencia.

Las coordenadas de los factores arrojados por el análisis de componentes principales en las tres escalas de paisaje descritas fueron introducidas en un modelo de regresión múltiple por el método de pasos sucesivos donde la variable retenida se interpreta como la escala de paisaje con mayor influencia en los procesos de retención de sedimentos y control de flujos (Tabla 4). Para la cantidad de sólidos en suspensión la variable retenida fue el factor dos en la zona de amortiguamiento (asociado al bosque secundario) de 100 metros ($r=0.048$ $p=0.015$); por otra parte para el nivel máximo de los afluentes la variable retenida fue el factor uno (asociado a cultivos y pastizales) en la misma escala de 100 metros ($r=0.73$ $p=0.001$).

Tabla 4. Variables retenidas del ACP para la determinación de la escala de paisaje.

Parámetro	Variable retenida	r	P
Sólidos suspendidos totales	Factor 2 en el buffer de 100 metros	0.48	0.015
Altura máxima	Factor 1 en el buffer de 100 metros	0.73	0.001

De los resultados descritos anteriormente se puede inferir que las zonas de amortiguamiento a 100 metros resulta una escala ideal para la descripción tanto de sólidos en suspensión como del nivel máximo de los ríos estudiados.

Conclusiones y recomendaciones.

El presente estudio tuvo como objetivo encontrar las relaciones entre usos de suelo contra la cantidad de sólidos suspendidos totales que pasan por un afluente justo en el momento de las avenidas y la intensidad de estas por lo que se basó en la premisa que los bosques tiene la capacidad de reducir la producción de sedimentos y regular las avenidas.

Para probar nuestros objetivos fue necesario el manejo de información en sistemas de información geográfica y la obtención de datos en campo. En este último punto es importante señalar la utilidad de la torre con la que se recolectaron datos de sólidos en suspensión, ya que

esta fue capaz de registrar el transporte de sólidos en suspensión justo en el momento de las avenidas, si necesidad de encontrarse en el sitio durante estos eventos.

Por otra parte los resultados obtenidos muestrna que existe un efecto benéfico de los bosques en la reducción de la cantidad de sólidos en suspensión que llegan a los cauces. Si bien se esperaba que el bosque primario fuese el uso de suelo que más retuviese la producción de sedimentos, es necesario hacer mención que no se incluyeron factores como a pendiente del terreno o la cantidad de lluvia, elemento que resulta de gran importancia en el arrastre de los suelos y generación de sedimentos.

En cuanto al nivel máximo de los ríos, son las zonas urbanas quien presenta una relación más alta con esta variable, resultado de la pérdida en la capacidad de infiltración, y un rápido escurrimiento hacia los cauces lo que da como resultado mayores avenidas.

Además se encontró que la escala de paisaje en la zona de amortiguamiento de 100 metros presenta el espacio en el que las variables tienen una mayor asociación con las variables de respuesta, lo que resalta el papel de la vegetación riparias en la prestación de servicios ambientales, en este cao la reducción en el azolve de los ríos y como protección ante inundaciones menores.

Este último resultado debe tomarse en cuenta en la planeación y fortalecimiento de programas de pago por servicios ambientales en los que se incluya este tipo de vegetación como provisora de servicios, ya que resulta ideal en la planeación de zonas urbanas en las existe un mayor potencial de personas beneficiadas directamente.

Finalmente se expone que la necesidad de hacer más repeticiones en campo con el fin de aumentar la calidad en los resultados e incluir otras variables como intensidad de lluvia, saturación del suelo, niveles de los ríos en función del tiempo, entre otros.

Bibliografía

-Adokpo S., 2000. The impact of the forest conversion on hydrology, *Technical documents in hydrology*, UNESCO, Paris, 70pp.

Allan, J.A., 2004. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* (35), 257-284pp.

Aparicio F.J., 1992. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*, Primera Edición, LIMUSA, México D.F. 291 pp.

-Balverna P., 2012. Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosque tropicales, *Ecosistemas* 21(1); 1-10 pp.

-Bentrup G., 2008. Zonas de amortiguamiento para la conservación. Lineamientos para el diseño de zonas de amortiguamiento, corredores y vías verdes, Informe Técnico General, USDA. 128 pp.

-Brauman K., Daily C., Duarte K., Mooney H., 2007. The nature and value of ecosystems services. An overview highlighting hidrological services, *The annual review of environment and resources* (32), 67-98 pp.

-Bruijnzell L.A., 2004. Hidrological functions on tropical forests not seeing the soil for the trees?, *Agriculture Ecosystems & Environment* (104) 185-228 pp.

Carrión C., 2012. Valoración económica de la belleza escénica de la ribera del río Sordo, para el fortalecimiento de un programa de pago por servicios ambientales en Xalapa, Ver. *Tesis de Maestría en Ciencias*, Instituto de Ecología A.C. 95 pp.

- CEMDA, 2006. *El agua en México: lo que todos y todas debemos saber*, Primera Edición, Fondo para la Comunicación ambiental, México D.F. 96 pp.
- CONABIO, 2008. Mapas de tipo de uso de suelo 1:50 000 de la República Mexicana.
- Cuevas M.L., Garrido A., Pérez-Damian J.L. Iurra D., 2010. Estado actual en la vegetación en las cuencas de México 50-58 pp. En Cotler H. *Las cuencas hidrográficas en México: Diagnóstico y Priorización*; INE, Mexico D.F., 231 pp.
- Deutsch, W.; Bushy, A.; Orpecio, J.; Bago-Labis, J.; Cequiña, E., 2005. *Community-based hydrological and water quality assessments in Mindanao, Philippines. Forest, water and people in the humid tropics*. Cambridge University Press. UNESCO.
- Elliot A., Spigel R., Jowett I., 2009. Model application to assess effects of urbanization and distributed flow control on erosion potential and baseflow hydraulic habitat, *Urban Water Journal* (7) 2. 91-107pp.
- FAO., 1997. *Control of water pollution from agriculture*; FAO irrigation and drainage paper 55; Roma, Italia.
- García-Chevesich P., 2010. Factores que determinan la erosión y sedimentación 7-18 pp en Brea D. y Bach C. *Procesos de erosión y sedimentación en cauces y cuencas*. Documento técnico número 22 UNESCO-PHI, 144pp.
- Hernández B., 1997. Estrategias para el fortalecimiento del manejo de cuencas hidrográficas de montañas tropicales. XI Congreso Mundial Forestal, FAO.
- Mass J.M., Cotler, H., 2007. El protocolo para el manejo de ecosistemas en cuencas hidrográficas, pp41-58 en Cotler H., *El manejo integral de cuencas en México*, "Segunda Edición, INE, Mexico D.F. 341 pp.
- Mokondoko. D.S.P ,2010. Estudio sobre las relaciones entre el cambio de uso de suelo, calidad del agua y salud pública para la valoración de los servicios ambientales hidrológicos en la Cuenca alta del río La Antigua, Veracruz, *Tesis de Maestría en Ciencias*, Instituto de Ecología A.C. 119 pp.
- Peel, M. C., McMahon, T. A., Finlayson, B. L., 2010. Vegetation impact on mean annual evapotranspiration at a global catchment scale. *WaterResourcesResearch*,(46); 139-154 pp.
- Peña, 2002, *Análisis de datos multivalentes*, Primera Edición, Ed. Mc Graw Hill. Madrid, España, 515 pp.
- Pereyra D., Gómez L., Loaeza F, 2005. Pérdida del suelo por erosión hídrica, 61-84 pp. en: Rivera-Trejo F., Gutiérrez-López A., Val-Segura R., Mejía-Zermeño R., Sánchez-Ruiz P., Aparicio-Mijares F.J., Díaz-Flores L.L. (Editores). "*La medición de los sedimentos en México*", Ediciones IMTA-UJAT, Juitepec, Morelos/Villahermosa, Tabasco, México 318pp.
- Rivera F., Mejia Z.R., Soto. C.G. y Val S. R., 2005. Aspectos de la medición de sedimentos en México, 11-15pp en: "*La medición de los sedimentos en México*", Ediciones IMTA-UJAT, Juitepec, Morelos/Villahermosa, Tabasco, México 318pp.
- Silva L. y Williams L., 2001. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality, *Water Research* 35 (14), 3462-3472 pp.
- Vidal L. y Romero H., 2010. *Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos BíoBio y Analien sobre los riesgos de inundación y anegamiento en la ciudad de Concepción*. Planes y proyectos Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile.