

AVANCES DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE LA EROSIÓN HÍDRICA Y CALIDAD DEL AGUA EN CUATRO MICROCUENCAS FORESTALES DEL CAMPO LAS CRUCES

PROGRESS OF A WATER EROSION AND WATER QUALITY MONITORING SYSTEM IN FOUR MICRO FOREST CATCHMENTS OF LAS CRUCES FIELD

Isidro Villegas-Romero

Universidad Autónoma Chapingo

isidrovr@colpos.mx

Antonia Macedo-Cruz

Colegio de Postgraduados

macedoan@colpos.mx

Guillermo Carrillo-Espinosa

Universidad Autónoma Chapingo

gcarrilloe@hotmail.com

Resumen

La erosión hídrica de origen antrópico es una de las formas de degradación del suelo y del agua más importantes en México y en el mundo, causante de la desertificación en las zonas semiáridas y subhúmedas de nuestro país, afectando 32 millones de ha de suelos de ladera con vocación forestal (SEMARNAP, 1998).

La zona eminentemente forestal del municipio de Texcoco, está sujeta al impacto causado por talas clandestinas, el sobre pastoreo, los incendios, así como al cambio de uso del suelo de forestal a agricultura de ladera, minería y urbano; lo que incrementa la compactación del suelo, disminución de las tasas de infiltración y percolación, incrementando el número de escurrimientos superficiales erosivos durante el año que disminuyen la fertilidad del suelo y su capacidad de retención de humedad lo que

conduce a mediano plazo a la disminución de la disponibilidad de agua de calidad y la desertificación del paisaje.

El desarrollo económico de la zona baja del municipio de Texcoco depende del abastecimiento de agua superficial y subterránea proveniente de las cuencas de alta montaña de la zona oriente; así mismo los núcleos de población que habitan en estas, dependen de la productividad forestal y agropecuaria del suelo, por lo cual se debe buscar una relación equilibrada entre las actividades que impactan la cubierta vegetal en la zona alta con la planificación del uso y aprovechamiento del recurso agua en la zona baja.

En este proyecto se tiene como objetivo estimar algunos indicadores de la degradación del suelo forestal y de la cantidad y calidad del agua, que permitan demostrar la importancia del buen manejo forestal de las zonas de ladera y mejorar las bases de cuantificación y planificación del recurso hídrico como un servicio ambiental, que a la vez proporcionen elementos técnicos de gestión para mantener y mejorar la producción forestal en el municipio de Texcoco.

El presente es un proyecto aprobado por la DGIP de la UACH en 2009, que se considera de mediano y largo plazo, cuya base metodológica consiste en el establecimiento de microcuencas experimentales que permitan monitorear la erosión hídrica y la cantidad y calidad del agua proveniente de la lluvia bajo distintas condiciones de suelo, uso del suelo y estrato geológico; siendo el aporte científico del presente proyecto la integración de un sistema de monitoreo a largo plazo de la degradación del suelo y calidad del agua a nivel regional, ante el impacto del Cambio Climático Global y la escases del recurso. Los avances obtenidos durante 2009 y 2010 son los siguientes: Caracterización fisiográfica, estudio hidrológico, ubicación y delimitación e instrumentación básica de 4 microcuencas experimentales.

Palabras clave: Monitoreo, erosión, escurrimiento, calidad y microcuenca.

Abstract

The anthropogenic water erosion is one of the forms of land degradation and water in Mexico and most important in the world, causing desertification in semi-arid and sub-humid areas of our country, affecting 32 million hectares of hillside soils suitable for forestry (SEMARNAP, 1998).

Mainly forest area of the municipality of Texcoco, is subject to the impact of clandestine logging, overgrazing, fires, and the land use change from forest to hillside farming, mining and urban, which increases compaction soil, reduced infiltration and percolation rates, increasing the number of erosive surface runoff during decreasing soil fertility and moisture holding capacity leading to medium term to the decreasing availability of quality water landscape and desertification. At which they presented their arguments orally and the court issued a ruling.

Key words: Monitoring, erosion, runoff, and watershed quality.

Fecha recepción: Septiembre 2010

Fecha aceptación: Noviembre 2010

Introducción

La erosión hídrica es una de las formas de degradación del suelo más importantes en México y en el mundo, causante de la desertificación en las distintas condiciones climáticas de nuestro país, afectando el 60 % del territorio nacional; de esta superficie, 32 millones de hectáreas pertenecen a suelos de ladera con vocación forestal, los cuales han sido objeto de manejo inadecuado (SEMARNAP, 1998).

La degradación del suelo por la erosión hídrica está muy relacionada con la pérdida de la capacidad del ecosistema para mantener niveles adecuados de producción agrícola o forestal (Kirkby, 1994), así como la calidad de los servicios ecosistémicos ambientales relacionados con la captura de agua y fijación de carbono.

El proceso de la erosión hídrica se ha estudiado desde diferentes enfoques, pero siendo un proceso físico generado por el escurrimiento superficial, es recomendable

abordar su estudio desde el punto de vista de la cuenca hidrográfica, en la cual es posible cuantificar distintas variables o indicadores relacionados con su avance (Mutchler, *et al.*, 1988, citado por FAO, 2003).

El municipio de Texcoco ocupa 41,869 ha, siendo el de mayor extensión de la zona oriente del Estado de México. El 61.96 % del área es de vocación forestal y el 23.58 % agrícola. El H. Ayuntamiento reconoce que al menos el 17 % del área forestal está afectada por erosión severa causada por el cambio de uso del suelo.

La cubierta vegetal arbórea de este municipio se compone de bosques de oyamel, encinos, pinos y combinaciones de los mismos, las cuales están sujetas al impacto causado por la tala clandestina, el sobre pastoreo y los incendios forestales, así como al cambio de uso del suelo de forestal a agricultura de ladera, uso urbano y minería (H. AYUNTAMIENTO DE TEXCOCO, 2009) lo que genera disminución de la tasa de infiltración y percolación, mayor incremento de los escurrimientos superficiales erosivos, aumentando la erosión acelerada, compactación del suelo, pérdida de nutrientes y pérdida de materia orgánica; conduciendo invariablemente a la aridización del paisaje y pérdida de la capacidad de recarga del acuífero Oriente del Estado de México (Comisión Intersecretarial Para el Plan Lago de Texcoco, 2002); aspecto que se refleja en la disponibilidad media anual de agua en el municipio, la cual se estima de 144 m³/año/habitante, considerándose el más bajo del país, y se prevé que disminuirá cada año debido al incremento de la población, problema que ya se manifiesta en la falta del servicio de agua potable en el 10 % de las casa habitación (H. Ayuntamiento, 2009).

Filosóficamente, el presente proyecto se inserta en la estrategia general de lucha contra la desertificación causada por las actividades productivas del hombre, pero aceleradas por el Cambio Climático Global y operativamente se concibe como un proyecto a mediano y largo plazo de manejo integral de cuencas.

2. OBJETIVOS

En alineación con el Programa Nacional Hídrico 2007 – 2012 (CONAGUA, 2007), este proyecto busca estimar cinco indicadores de la degradación del suelo forestal y de la

cantidad y calidad del agua superficial proveniente de la lluvia y captada por microcuencas. Dichos indicadores permitirán mejorar las bases de planificación del recurso hídrico, así como la capacidad de captura, almacenamiento y distribución de dicho recurso, proporcionando elementos técnicos para valorar, mantener y mejorar la producción forestal en la zona oriente del municipio de Texcoco y mantener la recarga de acuíferos.

De acuerdo con lo anterior, el objetivo general es: determinar las relaciones ecosistémicas agua-suelo-vegetación en bosques de clima templado subhúmedo de la región oriente del Valle de México (municipio de Texcoco, Edo. de México), mediante la cuantificación de la erosión hídrica, producción y calidad de agua, y su relación con la infiltración y recarga de acuíferos, como servicios ecosistémicos hidrológicos.

Sus objetivos específicos son:

- 1) Determinar la relación entre el tipo de vegetación arbórea con la tasa de erosión hídrica y concentración de sedimentos que se generan en cada evento de lluvia.
- 2) Determinar la relación existente entre el tipo de vegetación arbórea con respecto a la cantidad y calidad del agua superficial y subsuperficial.
- 3) Cuantificar *insitu* el escurrimiento superficial y la tasa de infiltración, como bases para la estimación de la disponibilidad media anual de agua.
- 4) Estimar el valor económico de los servicios ecosistémicos hidrológicos, proporcionados por el bosque de clima templado.

3. METAS

- 1) Consolidar el uso forestal de 17,000 ha del municipio de Texcoco, ubicadas en la zona de alta montaña y sujetas a cambios inadecuados de uso del suelo.
- 2) Beneficiar a 16 comunidades rurales ubicadas en la zona de alta montaña del municipio de Texcoco y propietarias del área bajo uso forestal.
- 3) Estimar la capacidad de captura de agua, de 17,000 ha de uso forestal del municipio de Texcoco.

- 4) Estimar la capacidad de retención de sedimentos de 13,067 ha de uso forestal del municipio de Texcoco.
- 5) Promover el ingreso al programa de pago por servicios ambientales de 13,067 ha susceptibles de ser beneficiadas en el municipio de Texcoco.

4. MARCO CONCEPTUAL

La evaluación de los efectos y cambios provocados en el medio ambiente, por las acciones productivas sin planificación realizadas por el hombre, tiene en la actualidad como herramienta útil la aplicación de los sistemas de monitoreo; los cuales, aplicados a masas arboladas se reportan desde los años de 1790 en algunos países Europeos (INIF, 1965), pero a la luz del desarrollo de los sistema de información geográfica, siguen siendo instrumentos útiles de planeación y evaluación del desarrollo económico, social y ambiental, como el caso del proyecto RESEL en España (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, 2008) y el proyecto de monitoreo de microcuencas experimentales conducido por la Universidad Austral de Chile (UACH, 2010).

El monitoreo permite determinar la ocurrencia, tamaño, dirección e importancia de los cambios que se dan en indicadores claves de la calidad del manejo de un recurso. Los cambios en este caso se relacionan a una comunidad natural (un bosque o selva) que se está manejando e impacta a los recursos suelo y agua, WWF. (2004).

La cuenca hidrográfica desde el punto de vista geomorfológico, es un conjunto de geoformas construidas por el desgaste constante de las corrientes superficiales ó la red de drenaje, también llamada red hidrográfica la cual consta de un canal principal y corrientes tributarias más reducidas que la proveen de agua.

Desde el punto de vista de su funcionamiento hidrológico, García (1985), Corpocuenas (2000) y Lynne (2000) establecen el concepto general de cuenca, como el área de drenaje natural dividida por una línea imaginaria que establece la dirección del flujo del agua proveniente de la precipitación. Arellano (1999) a partir del concepto genérico de tierra, concibe la cuenca como un continuo hidrológico; una unidad

territorial hidrológicamente homogénea donde se suceden de manera continúa los procesos y fenómenos de intercambio y flujo de materia y energía asociada al agua.

Por su funcionalidad hidrológica a la cuenca hidrográfica se le concibe como una unidad de planificación; la United States Agency For International Development (USAID, 1999) señala que en las cuencas hidrográficas, tienen lugar todos los procesos naturales, por lo que constituye la unidad natural y lógica para el desarrollo agrícola, ambiental y socioeconómico. Martínez (1999), complementa lo anterior al plantear que la cuenca es la unidad natural que permite a los planificadores observar todas las consecuencias del escurrimiento en un área determinada y elaborar los planes necesarios para su control.

La cuenca hidrográfica como parte del paisaje, es la unidad geomorfológica que integra todos los factores físicos, biológicos y antropogénicos, los conjuga y los manifiesta de forma directa en su comportamiento hidrológico; de esta manera es posible estudiar el comportamiento de algunos componentes del ciclo hidrológico a corto, mediano y largo plazo, y establecer tendencias que permitan la planificación del uso del suelo, vegetación y agua.

Para cualquier propósito, el estudio de la cuenca hidrográfica se inicia con la caracterización física, que consiste básicamente en delimitar su área de influencia, determinar su forma y caracterizar la red de drenaje (López, 1998). De acuerdo con este mismo autor los parámetros más útiles para caracterizar la red de drenaje y el comportamiento hidrológico de la cuenca son la longitud de la corriente principal, pendiente, densidad de drenaje y tiempo de concentración.

DESARROLLO DEL TRABAJO

Descripción del área de estudio. El municipio de Texcoco se localiza en la parte Oriente del Estado de México y forma parte de la Zona Metropolitana del Valle de México, pertenece a la Región económica XI Texcoco; se encuentra en una altitud promedio de 2,246 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y ocupa una superficie de 41, 869 ha, limita al norte con el municipio de Tepetlaoxtoc, al sur con Ixtapaluca, al Este con los estados de Puebla y Tlaxcala y al Oeste con el Distrito Federal (Figura 1).

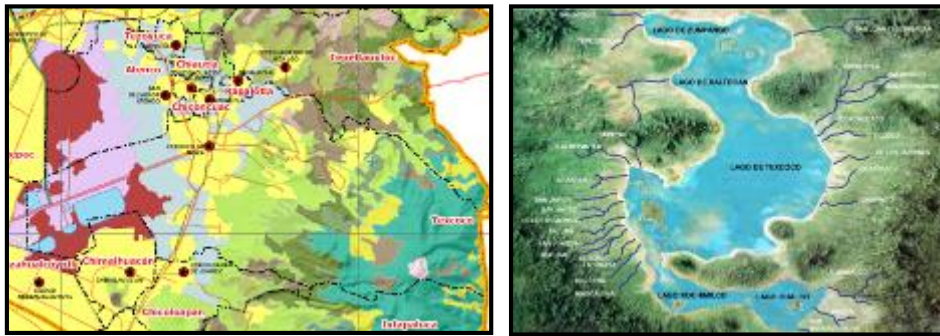


Figura 1. Ubicación política del municipio de Texcoco y las principales cuencas hidrográficas que alimentan el acuífero del mismo nombre

Ubicación geográfica del Campo Forestal Experimental Las Cruces. El campo forestal experimental Las Cruces se localiza en la zona oriente del municipio de Texcoco, constituye parte del área de drenaje de las cuencas del río Chapingo y San Bernardino. Geográficamente se ubica, entre los meridianos: 98.83° y 98.80° de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich y entre los paralelos: 19.45° y 19.47° de Latitud Norte, y cuenta con 325 ha. Figura 2.

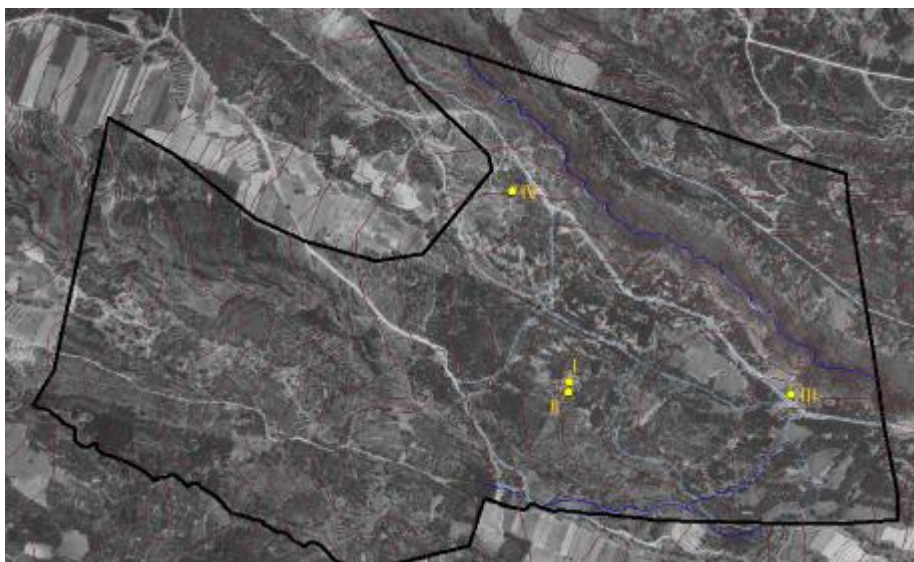


Figura 2. Delimitación del Campo Forestal Experimental las Cruces y distribución geográfica de las microcuencas experimentales.

Diseño de la investigación

De acuerdo con los tipos de vegetación existentes en el municipio, así como los objetivos y metas propuestos en el presente proyecto, se plantea establecer 6 experimentos hidrológicos, incluyendo un testigo, dentro del área que ocupa el Campo Forestal Experimental Las Cruces. Cada experimento estará representado por una microcuenca instrumentada con un sistema de medición de agua y sedimentos.

Características de la microcuenca. Área homogénea en cuanto a cubierta vegetal arbórea, arbustiva y herbácea, suelo y geología superficial; delimitada en forma natural por un parte aguas, con un cauce bien definido y un punto de desfogue principal. El tamaño de cada microcuenca variará de acuerdo a las condiciones del terreno, entre 0.25 a 0.5 ha. Cada microcuenca experimental será representativa de algún tipo de vegetación de la zona forestal del municipio de Texcoco.

El experimento testigo se define como una microcuenca con vocación forestal pero bajo uso agrícola o con intenso pastoreo, sin obras de conservación de suelo y en pleno proceso de degradación física y química.

Sistema de medición. Cada microcuenca será instrumentada por medio de un canal rectangular en el punto de desfogue, limnómetro, canaleta dosificadora, estanque trampa, pluviómetros y somnómetro. Así mismo se contempla la instalación de y una estación meteorológica digital en todo el Campo Forestal Experimental.

Las variables a medir son: Temperatura, precipitación, tasa de intercepción por vegetación, evapotranspiración, gasto hidráulico, tasa de infiltración, carga de sedimentos, tasa de erosión, pérdida de nutrientes, y pérdida de carbono orgánico. Los resultados obtenidos será posible analizarlos buscando relación de variables entre distintos experimentos y dentro de cada uno de ellos con respecto al testigo.

Extrapolación de resultados. Los resultados obtenidos para cada variable, podrán ser escalados a nivel regional por medio de un Sistema de Información Geográfica.

RESULTADOS OBTENIDOS

Ubicación y descripción de microcuencas

Ubicación. Se ubicaron cuatro microcuencas experimentales, las cuales cubren cuatro condiciones de cobertura vegetal arbórea y arbustiva del Campo Forestal Experimental Las Cruces y la zona oriente del Estado de México.

La ubicación de microcuencas se realizó por medio de recorridos de campo y análisis espacial de la ortofoto correspondiente a la zona de estudio, lo que permitió seleccionar pequeñas áreas de drenaje con las siguientes características: forma y comportamiento hidrológico de cuenca hidrográfica, área de drenaje no mayor a 2,500 m², pendiente del 8 al 10 %, con algún tipo de cubierta vegetal arbórea, arbustiva o herbácea dominante en la zona forestal del municipio, con suelo homogéneo y en proceso de erosión de erosión hídrica.

Delimitación. Cada microcuenca se delimitó en el terreno por medio de un levantamiento altimétrico detallado, utilizando estación total.

Aislamiento. Con el propósito de evitar la entrada de agua y sedimentos del área circundante y contar con un área bien definida, se realizó el aislamiento del área de drenaje de cada micro cuenca. El aislamiento consistió en la apertura de la cepa a lo largo del parte aguas, colocación de una tabla de 30 cm de ancho y 2.5 m de largo forrada de plástico tipo invernadero.

Descripción general

Microcuenca I. Forma alargada, con longitud axial de 120 m, una amplitud máxima de 65 m, un cauce principal casi recto de 140 m de longitud, con pendiente que varía del 3 al 5 %, profundo y con taludes casi verticales que se extienden más hacia la vertiente derecha. El suelo pertenece a los Faeozems háplicos y ha sido totalmente eliminado, quedando en su lugar el afloramiento de toba volcánica de color rojiza amarillenta. Se considera microcuenca testigo.

Microcuenca II. Es una microcuenca que se considera en proceso de restauración. Forma alargada, con longitud axial de 110 m, una amplitud máxima de 60 m, un cauce principal recto de 120 m de longitud, con pendiente que varía del 3 al 5 %, muy somero y con taludes extendidos casi en forma simétrica. El suelo pertenece a los Feozems háplicos de 80 cm de profundidad, influenciado por las acciones de

restauración realizadas en la zona durante la década de los 80s. La cubierta vegetal se caracteriza por presentar un estrato arbóreo alto casi único formado por *Eucalyptus calverdulencis* de 25 a 30 m de altura y un estrato herbáceo formado principalmente de pastos y otras gramíneas. En conjunto se caracteriza por ser una cubierta vegetal densa, de alta protección al suelo contra la erosión hídrica.

Por las características de suelo y condición de vegetación se considera una microcuenca representativa de las áreas restauradas de la zona de estudio, donde se espera poco escurrimiento y baja tasa de erosión hídrica.

Microcuenca III. Las características morfológicas sobresalientes son la forma redondeada, con área total 800 m², largo máximo de 35 m y ancho de 30 m. Cauce somero, no mayor a 30 cm de profundidad y una pendiente uniforme de 5 a 6 %. El suelo es representativo de los Leptosoles de la zona de estudio y se caracterizan por tener profundidad no mayor a los 20 cm, pedregosos y en pleno proceso de erosión hídrica. El estrato geológico sobre el cual se han desarrollado estos suelos pertenece a los aglomerados volcánicos, formados por la cementación de rocas volcánicas como andesitas y riolitas principalmente.

La cubierta vegetal se caracteriza por presentar un estrato arbóreo disperso formado por *Cupressus Lindley* con altura promedio de 12 a 15 m, producto de las acciones de restauración en la década de los años 80s. El estrato herbáceo está representado por pastos y otras gramíneas, que cubren la superficie del suelo en un 50 % y lo protegen medianamente de los procesos erosivos generados por la lluvia.

Por las características de suelo y cubierta vegetal arbórea esta microcuenca se considera representativa de las áreas con *Cupressus spp* disperso pero con buena cubierta vegetal de pastos.

Microcuenca IV. Microcuenca ubicada en la parte norte de la zona de estudio. Tiene forma redondeada, longitud máxima de 85 m y ancho máximo de 50 m, con cauce principal incipiente pero bien definido, por lo que el escurrimiento que se presenta se mueve casi en forma laminar. Pendiente promedio del 10 % con taludes extendidos muy suavemente hacia los lados.

El suelo pertenece a la Unidad de los Cambisoles eútricos y se observan de profundos a medianamente profundos, en proceso de erosión hídrica acelerada. La cubierta vegetal se compone de un estrato arbustivo de *Cupressus Lindley* muy disperso y un estrato herbáceo poco denso y manchoneado. Por sus características de suelo y cubierta vegetal se considera representativa de las áreas con cupresus disperso y sin cubierta vegetal superficial.

Sistema de medición

Para medir las variables hidrológicas como escurrimiento y sedimentos, se instaló infraestructura hidráulica que permite su medición sistemática. El tipo de infraestructura utilizada en cada microcuenca varía de acuerdo a su tamaño y cantidad de agua y sedimentos que se estima aportará durante las avenidas máximas. La microcuenca I y II se instrumentaron con un canal parshall modificado, limnómetro, canaleta dosificadora y una cisterna trampa de sedimentos.

El canal Parshall modificado tiene 6 m de longitud, 0.44 m de ancho y 0.8 m de altura en la microcuenca I, así como 6 m de largo, 0.44 m de ancho y 0.50 m de altura en la microcuenca II.

La canaleta dosificadora (Figura 3) en ambos casos tiene un ancho de 0.44 m, 2.20 m de largo y altura variable en cada tramo de 0.50 m. Consiste en una canaleta de lámina calibre 20, que captura todo el escurrimiento y sedimentos que conduce el canal Parshall, inicia con abertura igual a la del canal, a la distancia de 0.5 m libera el 50 % del escurrimiento y sedimentos, a la distancia de 1 m libera el 75 % del escurrimiento y el último 25 % del gasto líquido y sólido es conducido hasta la trampa cisterna, en la cual descarga en forma libre.

La trampa cisterna (Figura 4) es un estanque de concreto ubicado a 2.20 m aguas abajo de la boquilla de la microcuenca con capacidad para captar 1 m³ de agua con sedimentos. Está provisto de una escala milimétrica y un sistema de descarga rápida por medio de un tubo de 2" de diámetro y una llave de paso. Las dimensiones de cada trampa cisterna varían de una microcuenca a otra, lo cual depende de la pendiente del terreno en el tramo inmediato aguas debajo del canal Parshall. Cuando la pendiente

permite una descarga rápida la trampa cisterna tiene más altura y viceversa cuando la pendiente es más suave.

Las microcuencas III y IV se instrumentaran solo con canaleta dosificadora y trampa cisterna. En estos casos la canaleta dosificadora se empotrará en la boquilla, sobre la cepa y conectando con la tabla y plástico aislador, de tal forma que el escurrimiento y sedimentos entren totalmente al conducto y sean canalizados y dosificados hacia la trampa cisterna.



Figura 3. Canaleta dosificadora de agua y sedimentos vista en forma longitudinal por la boquilla de entrada.



Figura 4. Trampa Cisterna donde se colectará el 25 % del escurrimiento y sedimentos que se generen en cada evento de lluvia.

Calibración del equipo de medición

Al inicio del año 2011 se realizó la calibración del equipo de medición la cual consistió en montar un dispositivo en la entrada del canal Parshall modificado y la canaleta dosificadora, por medio del cual se realizaron descargas de agua con volúmenes de 20, 40, 60, 80, 100 y 120 L, cada volumen descargado se repitió cuatro veces durante el mismo día, lo cual permitió obtener una recta de regresión lineal simple con coeficiente de determinación (R^2) de 0.99; lo que indica que en general la canaleta dosificadora distribuye bien el gasto en 50 y 25 % respectivamente.

Observación de algunos eventos de lluvia

Las lluvias atípicas que se presentaron durante los días 3,4 y 5 de febrero del 2010 permitieron observar el funcionamiento hidráulico del canal Parshall instalado en la microcuenca I. Esta microcuenca por ser la que presenta menor cobertura vegetal generó un escurrimiento significativo con alta concentración de sedimentos, durante más de 6 horas que duró el evento de lluvia.

En la figura 5, se observa la concentración del escurrimiento superficial generado a la salida de la microcuenca y entrada al canal Parshall. La figura 6 muestra el funcionamiento hidráulico del canal ante el flujo de agua, en el cual es posible medir la velocidad y profundidad de dicho flujo y la figura 7 muestra el gasto generado en este evento de lluvia. La observación anterior indica que el canal Parshall puede ser un buen instrumento de medición y motiva la ejecución del presente proyecto.



Figura 5. Concentración del escurrimiento en la boquilla de la microcuenca I y entrada al canal Parshall.



Figura 6. Funcionamiento hidráulico del canal Parshall modificado en la microcuenca I.



Figura 7. Gasto hidráulico registrado en el canal Parshall de la microcuenca 1, durante el evento de lluvia atípica de febrero de 2010.

En el ciclo de lluvias de 2011 solo fue posible registrar 12 eventos de lluvia y afinar la metodología para la toma de muestras de agua y sedimentos. Por falta de laboratorio no fue posible analizar la cantidad de sedimentos pero de acuerdo a la turbidez, tres de las microcuencas generan escurrimientos con alta concentración de sedimentos. También se registró el mismo número de datos de precipitación pero no se realizó el análisis correspondiente.

Conclusión

Por medio de un equipo sencillo como un canal Parshall modificado, canaleta dosificadora de lámina galvanizada y un estanque trampa de con capacidad para 1 m³, es posible medir con buena precisión el volumen total escurrido por evento de lluvia en microcuencas forestales no mayores a 2000 m², en la zona oriente del municipio de Texcoco.

La microcuenca testigo registra escurrimiento y alta concentración de sedimentos a partir de lluvias mayores a 8 mm, en cambio la microcuenca restaurada con *Eucalyptus camaldulensis* requiere de 12 mm de lluvia para registrar algún escurrimiento superficial.

Bibliografía

ARIAS, M. J. A., SANTIAGO, P. A. L., y VILLAVICENCIO, G. R. F. (2007). Análisis preliminar del potencial hidrológico por tipo de cobertura en la microcuenca del Río Salado, Jalisco. Trabajo presentado en la XVIII Semana de la Investigación Científica. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Noviembre de 2007. Zapopan, Jalisco.

CORPORACIÓN VALLECAUCANA PARA LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y EL MEDIO AMBIENTE (CORPOCUENCAS) (2000). Diccionario de cuencas. México, D. F.

ESTRADA, P. M. (2001). Causas y consecuencias del cambio climático. Notas. *Revista de información y análisis*. 16.

GARCÍA N. M. J. (1985). Principios de Hidráulica Torrencial. Universidad Autónoma

Chapingo. División de Ciencias Forestales. México.

GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO. (2000). Diagnóstico Ambiental del Estado de México. Secretaría de Ecología. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica.

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA. (2008). Resultados de los proyectos desarrollados por el IMTA en 2007. Gaceta del IMTA. Número 11, Marzo de 2008. México.

KIRKBY, M. J. & MORGAN R. P. C. (1994). Erosión de suelos. México: Ed. Limusa.

LÓPEZ C. De LL. (1998). Restauración Hdrológico Forestal de Cuencas, y Control de la Erosión. Ingeniería Medioambiental. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid: Ed. Mundi-prensa.

MARTÍNEZ M. M. (1999). Manejo Integral De Cuencas: Pasado, Presente y Futuro. IX Congreso Nacional de Irrigación, Simposio 4, Manejo Integral de Cuencas Hidrológicas. 27-29 de octubre de 1999. Culiacán, Sinaloa, México.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, MEDIO RURAL Y MARINO. (2008). Tecnologías de Conservación. Madrid, España.

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA. (1999). Atlas Forestal de México. Primera edición. SEMARNAP. UCh. México, D.F.

SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT) (2009). Estadísticas del Medio Ambiente. Página web. Semarnat.

UNITED STATE AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT (USAID). (1999). Watershed Management for Hurricane Reconstruction and Natural Disaster Vulnerability Reducción. Stockholmo, Sweden; May 25, 1999. Recuperado de (<http://hurricane.info.usaid.gov/span-env.htm>)