

# METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA EN CUENCAS UTILIZANDO UN SIG

Víctor I. Mastache M. y Fernando J. González V.

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México  
E-mail: vmastachem@ingen.unam.mx, fgonzalezv@ingen.unam.mx

## Introducción

Para garantizar la demanda de agua potable a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la Comisión Nacional del Agua impulsa la construcción del proyecto del Acueducto del Poniente, el cual constituirá la cuarta etapa de desarrollo del Sistema Cutzamala, principal fuente de abastecimiento de agua a la ZMVM. La obra de captación será una estructura de concreto simple a gravedad y se denominó El Tule, por la cercanía a la comunidad del mismo nombre.

La pérdida de suelo por erosión hídrica es uno de los factores que afectan el funcionamiento hidrológico de la cuenca, pues disminuye la calidad y cantidad de agua captada y almacenada en la presa El Tule (Castro Mendoza, 2013). La erosión de cuencas se incrementa con la deforestación; consecuentemente la concentración de sedimentos suspendidos también crece, los cuales se depositan en el fondo de los cauces. Sin embargo, no todo el sedimento se asienta, una parte de material es transportado hasta llegar a los almacenamientos o al mar, donde el resto de las partículas se azolva. Esto provoca que las presas se saturen de sedimentos, disminuyendo su vida productiva (Manson, 2004).

Existen diferentes métodos para estimar la producción de sedimentos en cuencas, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés), método empírico, es el más utilizado en México, debido a su simplicidad y a la ausencia de registros de sedimentos sobre el cauce (Ramírez León, 2009).

Por lo anterior, el objetivo principal de este trabajo es estimar la erosión hídrica como antecedente para determinar la degradación de la cuenca, según el método empírico de la USLE y mediante la técnica conocida como Álgebra de Mapas en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

## Área de estudio

La presa El Tule se ubicará en las coordenadas de latitud norte 19°01'17.55" N y longitud oeste 100°06'28.36" W, en el estado de México, a una elevación aproximada de 1520 msnm. En la figura 1 se observa la ubicación de la cuenca y la presa El Tule. El área de la cuenca aproximada es 550 km<sup>2</sup>.

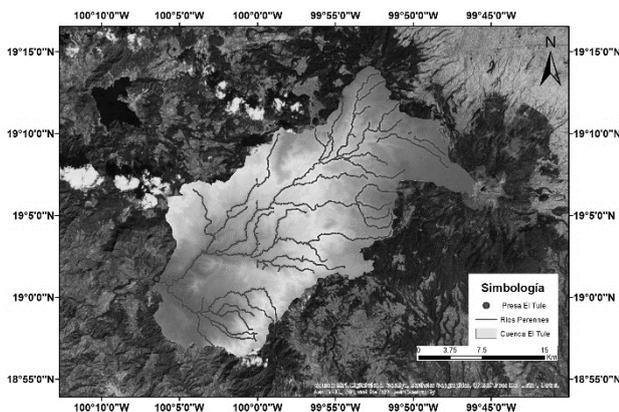


Figura 1.- Ubicación de la presa y cuenca El Tule.

## Metodología

La estimación de la erosión actual y potencial se analizará mediante la técnica Álgebra de Mapas en un Sistema de Información Geográfica, con base en la USLE, desarrollada por Wischmeier & Smith, en la que la pérdida de suelo está expresada como masa por unidad de área por unidad de tiempo y es una función del efecto de seis factores (Flores Islas, 2016). La función que describe el proceso se expresa en la ecuación [1]

$$A = R * K * L * S * C * P \quad [1]$$

Donde:

A = Pérdida de suelo anual expresada en ton/ha/año.

R = Factor de erosividad de la lluvia en (MJ mm)/(ha hr).

K = Factor de erosionabilidad del suelo en (ton ha hr)/(MJ mm ha).

S = Factor del grado de la pendiente, adimensional.

L = Factor del grado de longitud de la pendiente, adimensional.

C = Factor del uso de suelo, es adimensional.

P = Factor de las prácticas mecánicas en el manejo de la vegetación agrícola, es adimensional.

### Factor de erosividad de la lluvia R

El factor R depende de la intensidad de lluvia y de la lluvia total. Este factor se estima para cada una de las tormentas significativas ocurridas durante un registro de una longitud aceptable. En México existen mapas de isoerosividad, según las 14 regiones delimitadas por la erosividad de la lluvia (Montes León, Uribe Alcántara, & García Celis, 2011).

### Factor de erosionabilidad del suelo K

El factor K está influenciado por la edafología del suelo, específicamente por: tamaño de los orificios del suelo, contenido de materia orgánica, resistencia de agregados y tamaño de las partículas. El método de la FAO utiliza una metodología de cálculo a partir de la textura superficial (final, media y gruesa) y la unidad de suelo a que pertenece según la FAO & UNESCO (Flores Islas, 2016).

### Factor de longitud de la pendiente L

El factor L se obtiene mediante la aplicación de las ecuaciones [2-5] siguientes:

$$L = \left[ \frac{\lambda}{22.13} \right]^m \quad [2]$$

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad [3]$$

$$\beta = \frac{\sin \theta}{3 * (\sin \theta)^{0.8} + 0.56} \quad [4]$$

$$\lambda = \frac{DX}{\cos \theta} \quad [5]$$

Donde:

$\theta$  = Ángulo de la pendiente en radianes.

DX = Distancia entre pixeles.

$\lambda$  = Longitud de la pendiente en metros.

m = Exponente influenciado por la longitud y grado de la pendiente.

L = Factor longitud de la pendiente.

### Factor topográfico, inclinación de la pendiente S

El ángulo de la pendiente modifica el tiempo de permanencia de la lámina de agua que circula por la superficie del terreno. Se determina a partir de la siguiente ecuación [6]:

$$S = 10.8 * \sin \theta + 0.03 \text{ para } \tan \theta < 0.09 \quad [6]$$

$$S = 16.8 * \sin \theta - 0.50 \text{ para } \tan \theta \geq 0.09$$

### Factor de cobertura vegetal C

El valor de C depende de las combinaciones entre cobertura, secuencia de cultivos y prácticas de manejo, así como del crecimiento y desarrollo de la cobertura vegetal en la zona de estudio.

### Factor de prácticas de conservación P

El factor P es la tasa relativa de pérdida de suelo con una práctica específica. Estas prácticas afectan principalmente la erosión mediante la modificación del patrón de flujo, grado de pendiente o dirección del escurrimiento superficial, y mediante la reducción de la tasa y cantidad de escurrimiento.

## Resultados

### Factor de la erosividad de la lluvia R

La cuenca de la presa El Tule se ubica en la región número VIII, según los mapas de isoerosividad de México. La ecuación [7] calcula el factor R con un coeficiente de determinación igual a 0.98

$$R = 1.9967 * P + 0.003270 * P^2 \quad [7]$$

Donde:

P = Precipitación media anual en mm.

### Factor de erosionabilidad del suelo K

El factor K está asociado al conjunto de datos vectoriales Edafológico del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) de México, escala 1:250 000 – Serie II (Continuo Nacional), que contiene información actualizada de los diferentes grupos de suelos que existen en el territorio, obtenida durante el periodo de 2002 – 2006, utilizando la clasificación de los suelos del Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo, (WRB por sus siglas en inglés) (INEGI, 2018). La tabla 1 muestra la edafología presente en la cuenca en estudio, así como el factor K asociado a la textura de estos suelos.

**Tabla 1.-** Factor K, según el tipo de suelo de la clasificación desarrollada por la WRB.

Nombre	Símbolo	Textura		
		Grueso	Medio	Fino
Andosol	AN	0.026	0.04	0.013
Cambisol	CM	0.026	0.04	0.013
Phaozem	PH	0.013	0.02	0.007
Regosol	RG	0.026	0.04	0.013

### Factor topográfico, inclinación de la pendiente S y factor de la longitud de la pendiente L

Para el cálculo del factor S y L se requiere de un Modelo Digital de Elevaciones, el cual se obtuvo de cuatro cartas topográficas de la colección del relieve continental del INEGI, así como de un procesamiento en un SIG.

### Factor de cobertura vegetal C

El factor C está asociado al conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación del INEGI, escala 1:250 000 – Serie VI, que contiene información obtenida a partir de la aplicación de

técnicas de fotointerpretación con imágenes de satélite Landsat TM8 seleccionadas del año 2014 (INEGI, 2018). La tabla 2 presenta los usos de suelo dominantes en la cuenca en estudio, así como el factor C asociado a dichos usos.

**Tabla 2.-** Factor C para vegetación y/o uso de suelo.

Vegetación o uso de suelo	C
Agricultura de riego anual	0.55
Agricultura de temporal anual	0.75
Asentamientos humanos	0.005
Bosque de encino pino	0.01
Bosque de oyamel	0.01
Bosque de pino	0.01
Bosque de pino encino	0.01
Bosque mesófilo de montaña	0.01
Pastizal inducido	0.02
Pradera de alta montaña	0.05
Vegetación secundaria arbustiva de bosque	0.01

### Factor de prácticas de conservación P

Se revisó la información disponible y no se detectó algún área significativa en donde se realice algún tipo de práctica de conservación, por lo que el factor P se consideró como la unidad.

## Conclusiones

La metodología de la USLE con los diferentes factores referenciados en imágenes tipo ráster y procesadas en un SIG permite analizar, evaluar y representar cartográficamente la distribución espacial de la erosión hídrica, localizando geográficamente las áreas más afectadas.

Los resultados estimados permiten orientar y jerarquizar en la toma de decisiones para la conservación y desarrollo sustentable del recurso suelo.

## Referencias

- Castro Mendoza, I.** (2013). "Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México". *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, Vol. XXXIV, No. 2, Mayo-Agosto 2013, pp. 3-16.
- Flores Islas, E.** (2016). "Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en tres cuencas de la República Mexicana, utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo. México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- INEGI** (2018). "Conjunto de datos vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación". Consultado el 30 de enero de 2018. Obtenido de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359>.
- INEGI** (2018). "Conjunto de datos vectoriales Edafológico". Consultado el 30 de enero de 2018. Obtenido de [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/edafologia/vectorial\\_serieii.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/edafologia/vectorial_serieii.aspx)
- Manson, R.H.** (2004). "Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México". *Madera y Bosques*, Vol. 10, No. 001, 2004, pp. 3-20.
- Montes León, M.A., Uribe Alcántara, E.M. & García Celis, E.** (2011). "Mapa nacional de erosión potencial". *Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México*, Vol. II, No. 1, Enero-Marzo 2011, pp. 5-17.
- Ramírez León, J.M.** (2009). "Producción de sedimentos en cuencas: revisión de criterios y aplicabilidad a la cuenca del río Apulco". Jutepec, Morelos. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería, UNAM.