

Estimación de pérdida de suelo por erosión en la cuenca del humedal de Tecocomulco, México.

Estimation of soil loss due to erosion in the Tecocomulco wetland basin, Mexico.

Evanely Villegas-Reyes

Ricardo Guevara-Herrera*

Universidad Tecnológica de la Sierra Hidalguense, Dirección de ciencias naturales, Zacualtipán, Hidalgo
México.

Edgar López-Maldonado

Asesoría y Consultoría Ambiental Profesional AYCA-PRO S.A de C.V. Teolocholco, Tlaxcala México.

*Autor para correspondencia: Rguevara_h@hotmail.com

Resumen

La cuenca de la laguna de Tecocomulco se localiza al suroeste del estado de Hidalgo, abarcando parte de los estados de Puebla y Tlaxcala, fue designada sitio RAMSAR en el año 2003 por la Convención relativa de humedales de importancia internacional. El recurso hídrico del humedal de Tecocomulco, se encuentra comprometido por los usos sociales, ecológicos y la actual pérdida del volumen de almacenamiento de la laguna debido a la deforestación, que ha ocasionado un aumento de erosión del suelo en la parte alta de la cuenca, provocando inundaciones, bajos rendimientos en la producción agrícola y pecuaria; degradación de la cubierta vegetal y pérdida de la biodiversidad. El objetivo fue estimar el nivel de erosión en el humedal de Tecocomulco, con la finalidad de justificar los criterios para categorizarla como área prioritaria para su restauración y conservación. La evaluación del grado de erosión hídrica se realizó con base a la metodología propuesta por Figueroa (1991), el cual emplea la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), para estimar y predecir las pérdidas de suelo promedio anuales. Para la obtención de las estadísticas por rango de erosión de acuerdo a la FAO (1984), se clasificó el mapa resultado en tres rangos y posteriormente se realizó una zonificación estadística para obtener los valores. Los resultados mostraron que se obtienen 1,075,167.31 toneladas de pérdida de suelo por año, el rango o clase de erosión más representativa en superficie corresponde a la "Erosión Nula o ligera" que ocupa un 39.22% de la superficie total de la cuenca.

Palabras clave: Sitio Ramsar, deforestación, pérdida, estadísticas, erosión hídrica.

Abstract

The basin of the Tecocomulco lagoon is in the southwest of the state of Hidalgo, encompassing part of the states of Puebla and Tlaxcala. It was designated a RAMSAR site in 2003 by the Convention on Wetlands of International Importance. The water resource of the Tecocomulco wetland is compromised by social and ecological uses and the real loss of the storage volume of the lagoon due to deforestation, causing an increase in soil erosion in the upper part of the basin, causing flooding, low yields in agricultural and livestock production, degradation of plant cover and loss of biodiversity. The objective was estimating the level of erosion in the Tecocomulco wetland, to justify the criteria to categorize it as a priority area for restoration and conservation. The evaluation of the degree of hydric erosion was carried out based on the methodology proposed by Figueroa (1991), which uses the Universal Soil Loss Equation (USLE), to estimate and predict average annual soil losses. To obtain statistics by erosion range according to the FAO (1984), the resulting map was classified into three ranges and subsequently statistical zoning was carried out to obtain the values. The results showed that 1,075,167.31 tons of soil loss per year were obtained, the most representative range or class of erosion on the surface corresponds to "no or slight Erosion" that occupies 39.22% of the total surface of the basin.

Keywords: Ramsar site, deforestation, loss, statistics, water erosion.

Introducción

El cambio climático, la pérdida de los ecosistemas terrestres y acuáticos y de su biodiversidad, la escasez y contaminación de los recursos hídricos y los problemas de la calidad del aire son algunas de las problemáticas más preocupantes que están afectando en la actualidad. La necesidad de actuación se vuelve más urgente si se toma en cuenta que muchos de estos problemas trascienden la esfera ambiental y afectan aspectos sociales tan importantes como la salud o la seguridad alimentaria, e incluso, en la esfera económica en donde ya amenazan la producción y el comercio (SEMARNAT, 2015). La laguna de Tecocomulco es uno de los sitios ecológicos más importantes del estado de Hidalgo. Representa un área de recarga de agua subterránea de la Cuenca del Valle de México, es el hábitat natural de especies de vertebrados endémicos, constituye el lugar de descanso e hibernación de miles de aves acuáticas y terrestres migratorias, y es trascendental para las actividades económicas de la población (Delgadillo, 2012).

Cabe mencionar que la Laguna de Tecocomulco fue designada sitio RAMSAR el 29 de septiembre de 2003, principalmente porque es considerado como el último humedal del antiguo sistema lacustre de lo que fueron los lagos de Anáhuac, también porque es un vaso regulador para recarga de los acuíferos, alberga una rica biodiversidad y es lugar de nidificación de aves migratorias y 2 especies de anfibios en peligro de extinción (López, 2022).

La presencia de grandes superficies erosionadas en las zonas cercanas, han acelerado los procesos de degradación, causando un incremento de los escurrimientos en la cuenca, lo que genera empobrecimiento de suelos en las partes altas, inundaciones de las superficies de cultivo en las partes bajas y el azolvamiento de los cauces de la laguna (Delgadillo, 2012).

Por lo que, realizar el análisis para identificar el nivel de erosión que se ha presentado en el sitio con la finalidad de restaurar y conservar los recursos nos permite hacer una búsqueda de alternativas viables para el uso recursos naturales.

Materiales y métodos

La evaluación del grado de erosión hídrica se realizó con base a la metodología propuesta por Figueroa et al. (1991), el cual emplea la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).

La función que describe el proceso es:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

A = Monto de la pérdida de suelo [t ha-1]

R = Factor de erosividad de la lluvia en [MJ mm / ha hr año]

K = Factor de erosionabilidad del suelo en [t ha hr / ha MJ mm]

L = Factor del grado de longitud de la pendiente [adimensional]

S = Factor del grado de pendiente [adimensional]

C = Factor del manejo de vegetación [adimensional]

P = Factor de prácticas mecánicas en el manejo de la vegetación agrícola [adimensional]

De acuerdo a la descripción anterior, las variables se dividen en dos tipos, físicas y cualitativas, que se asignan en función de una serie de parámetros también físicos. Las primeras incluyen a los factores R, K, L, S; las cualitativas son los factores C y P.

Factor de erosividad por lluvia, R

Se digitalizo el mapa de las 14 regiones de isoerosividad en México (Cortés, 1991) en un archivo “shapefile” y se sobrepusieron las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional y la cuenca, tomando como base el mapa de regiones de erosividad del documento “Mapa Nacional de Erosión Potencial” (Montes-León *et al.*, 2011).

Se localizaron 9 estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca y con el objetivo de determinar la erosividad al interior de la misma, se realizó una interpolación de tipo Spline de los valores de erosividad, mediante un sistema de información geográfica (SIG). La Ecuación según Cortés (1991), corresponde a la siguiente:

$$\text{Región I } R = 1.2078P + 0.002276P^2$$

Donde:

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

P = Precipitación (mm año⁻¹)

Los Datos de Precipitación Total Anual se obtuvieron de las estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional actualizadas por última vez en el año 2010.

Se localizaron las Estaciones Climatológicas más cercanas, para obtener la precipitación y posterior a ello, se aplicó a cada valor la ecuación mencionada. Tendiendo los datos se realiza una interpolación de erosividad de cada estación para obtener la erosividad en toda la zona de estudio, con lo que obtenemos nuestro mapa de Factor R

Factor de erosionalidad del suelo, K

De acuerdo con Montes-León *et al.* (2011), el factor K indica el grado de susceptibilidad o resistencia de un horizonte específico del suelo a la erosión.

Para estimar el valor de K a partir de la textura superficial y la unidad de suelo, según el sistema de clasificación de la (FAO, 1980).

Una vez identificados los distintos tipos de suelo, se les asigna el valor correspondiente de acuerdo a la clasificación propuesta.

Factor de longitud de la pendiente, L

En la ecuación original de la EUPS, este factor se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$L = [\lambda / 22.1]^m$$

Dónde:

λ = Longitud de la pendiente proyectada en un plano horizontal (m)

m = Exponente adimensional

De acuerdo con Montes-León *et al.* (2011), la longitud de la pendiente (**λ**) se define como la distancia desde el punto de origen del flujo superficial.

El segundo valor (**m**) está influenciado por interacciones de la longitud de la pendiente con la inclinación, por las propiedades del suelo, el tipo

de vegetación, y las prácticas vegetativas.

El valor del exponente **m** varía dependiendo de la relación de **β** (abajo definida) y que es una función de la pendiente, de acuerdo a la relación propuesta por Foster *et al.*, (1977):

$$m = [\beta / (1 + \beta)]$$

Los valores de **β** para condiciones donde los suelos son moderadamente susceptibles a la erosión McCool *et al.* (1989), plantea la siguiente formula:

$$\beta = (\text{sen}\theta / 0.0896) / [3.0 \text{sen}\theta + 0.56]$$

Donde:

θ = Ángulo de la pendiente (°)

Mediante este procedimiento se calcula inicialmente la acumulación de Flujo mediante un modelo de elevaciones, y se interpreta como la distancia que hay desde el punto que inicia el flujo superficial hasta la celda donde empieza a existir sedimentación.

El factor L, tomando en cuenta el área de drenaje aportadora unitaria (Desmet y Govers, 1996) se define de acuerdo a lo siguiente:

$$L_{ij-in} = \frac{[(A_{ij-in} + D^2)^{m+1} - (A_{ij-in})^{m+1}]}{(D^{m+2}) \times (x_{ij}^m) \times (22,13)^m}$$

Figura1. Fórmula para el factor de longitud de pendiente L.

Dónde:

L_{ij-in} = Longitud de la pendiente para cada celda del grid.

A_{ij-in} = Área de drenaje aportadora unitaria en la entrada de la parte más alta de la celda.

D = Tamaño de la celda en metros.

m = Exponente adimensional del factor L

x_{ij} = (sen α_{i,j} + cos α_{i,j}) (Factor de corrección de forma)

Factor de grado de pendiente, S

Este factor incorpora la topografía a la EUPS. Según Figueroa *et al.* (1991), el Factor S se evalúa utilizando la relación propuesta por McCool *et al.*, 1987.

Dónde:

S = 10.8 **sen θ** + 0.03 *para pendientes* < 9%

S = 16.8 - 0.50 *para pendientes* ≥ 9%

θ = Ángulo de la pendiente (°)

Estimación de la erosión hídrica actual

La estimación de la erosión actual se obtiene mediante la multiplicación de todos los factores que integran la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (RUSLE por sus siglas en inglés).

$$A=R*K*LS*C*P$$

Una vez aplicada la ecuación anterior obtenemos la Erosión Actual en ton/ha/año la cual reclasificamos de acuerdo al rango de FAO (1980), para un mejor análisis. Para la cuenca del humedal laguna de Tecocomulco, se obtuvieron los siguientes resultados.

Resultados y discusiones

Erosión potencial

Por lo tanto, en la situación hipotética de una remoción total de la vegetación dentro del área de estudio (Figura 2), se obtendría las pérdidas de suelo como se muestra a continuación:

$$\text{Erosión potencial} = R * K * LS$$

De acuerdo a la (Cuadro 1), en la cuenca se tendría una total de 1,127,886.14 toneladas de pérdida de suelo por

año en el caso hipotético de la reducción de la vegetación en toda la cuenca. El rango o la clase de erosión más representativa en superficie corresponde a la “Erosión Alta” con un 56.62 % de la superficie total de la cuenca. Si tomamos en cuenta el parámetro del valor de la pérdida de suelo en toneladas por hectárea por año, el rango donde ocurre la mayor pérdida comparado con el total ocurrido en la cuenca, corresponde al mismo rango, el cual va de 50 a 200 ton/ha/año ya que representa el 37.27% de la pérdida efectiva en ton/ha/año. El promedio en toda la cuenca resultó ser de 590.9798 ton/ha/año.

Estimación de la erosión hídrica actual

La estimación de la Erosión Actual se obtiene mediante la multiplicación de todos los factores que integran la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Figura 3).

Como puede apreciarse en la Cuadro 2, en la cuenca se tiene una pérdida total de 1,075,167.31 toneladas de pérdida de suelo por año, el rango o la clase de erosión más representativa en superficie corresponde a la “Erosión Nula o ligera” que ocupa un 54.22% de la superficie total de la cuenca con una erosión de 41,050.20 toneladas al año. Sin embargo, si se considera el parámetro del valor de la pérdida de suelo en toneladas por hectárea por año, el rango donde

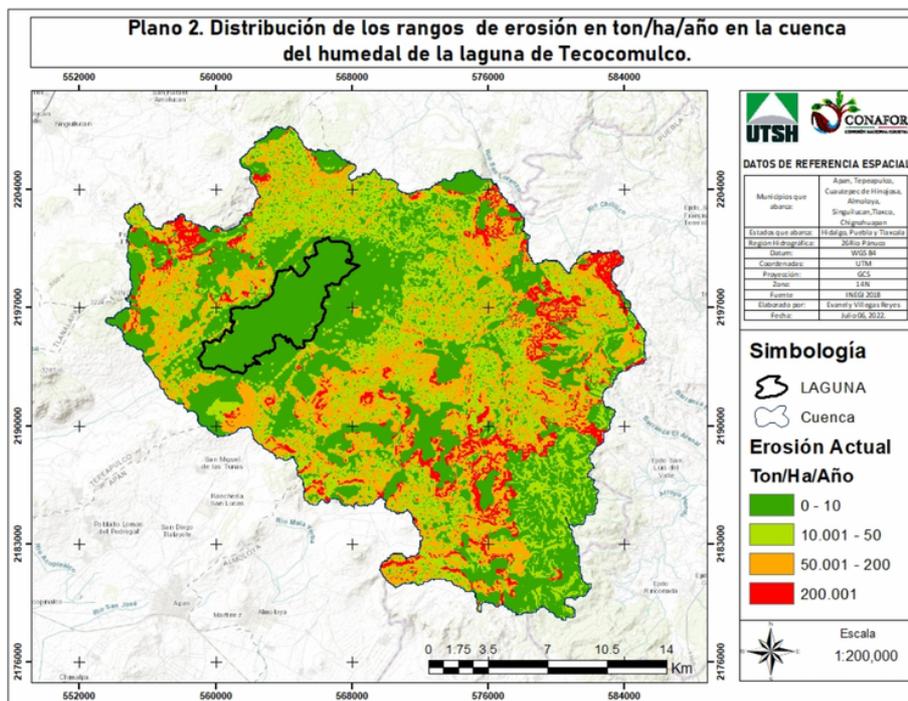


Figura 3. Distribución de los rangos de erosión en Ton/Ha/Año en el humedal.

ocurre la mayor pérdida comparado con el total ocurrido en la cuenca, corresponde al rango de “Erosión Alta”, ya que representa el 38.99% de la pérdida efectiva en ton/ha/año con una erosión de 1,075,167.31 toneladas al año. El promedio en toda la cuenca resultó ser de 154.042 ton/ha/año.

Con este trabajo se pretende lograr justificar y dar los criterios a tomar en la cuenta para establecerla como un área prioritaria, lo que lograría un aumento en la productividad de tierras agrícolas obteniendo mayores rendimientos e ingresos económicos, abastecer de agua a las poblaciones cercanas; así mismo cuenta con un alto valor como atractivo turístico y espacio recreativo.

**Conclusiones
Aportaciones**

Con todos los elementos que se recabaron a lo largo de esta investigación, se debe considerar que la laguna de

Tecocomulco es un sitio de gran importancia para la región centro de México por el valor natural que tiene para la sobrevivencia de especies vegetales como de especies animales y el valor que le da la población que habita en las cercanías tanto valor cultural como económicamente.

La laguna de Tecocomulco es considerada de renombre mundial, por ser un sitio en el cual se resguardan especies vegetales y animales, así como por ser una parte del ecosistema que fomenta y protege la vida natural y silvestre. Teniendo en cuenta que el cuerpo de agua se encuentra dentro de una zona de origen volcánico, ésta tiene la capacidad de genera formas en el relieve donde el agua es fácil de captar y salvaguardar desde que entra a la cuenca hasta en las zonas más altas, que llegan a las partes más profundas, incorporándose a los cuerpos de agua existentes. El suelo que se ha formado a través de los años en la región es rico en nutrientes, capaz de solventar un

Cuadro 1. Erosión potencial en ton/ha/año para la cuenca de acuerdo con el rango definido por INEGI (2014).

Erosión Clases	Pérdida de suelo Ton/ha/año	Superficie en ha	Pérdida de suelo promedio ton/ha/año	Total ton/año	Superficie en Porcentaje	Pérdida en ton/año en Porcentaje
Nula o ligera	<10	9952.623	177.795	1769526.606	21.78	15.68
Moderada	10-50	10359.946	181.584	1881200.434	22.67	16.67
Alta	50-200	16737.060	204.563	3423783.205	36.62	30.35
Muy alta	>200	8644.426	486.366	4204354.896	18.91	37.27
Total		45694.057	590.9798	1,127,886.14	100	100

Cuadro 2. Pérdida de suelo por Erosión Hídrica (ton/ha/año) para la cuenca de acuerdo con el rango definido por FAO (1984).

| Pérdida de suelo Ton/ha/año |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Nula o ligera | <10 | 20545.644 | 1.998 | 41,050.20 | 39.22 | 3.81 |
| Moderada | 10-50 | 14828.002 | 15.363 | 227,802.59 | 28.30 | 21.18 |
| Alta | 50-200 | 13333.058 | 31.446 | 419,271.34 | 25.45 | 38.99 |
| Muy alta | >200 | 3677.894 | 105.235 | 387,043.18 | 7.02 | 35.99 |
| Total | | 52384.598 | 154.042 | 1,075,167.31 | 100 | 100 |

ecosistema rico en vegetación.

La población que habita en la región de estudio tiene diferentes elementos a considerar, por un lado, está la parte económica; donde la mayoría de la población se encuentra en regiones clasificadas como rurales y por ende, el modo de vida es más tranquilo en comparación con las ciudades, la mayoría de ellos se emplea en actividades como la agricultura, ganadería y pesca, mientras que el restante se emplea en actividades como los servicios y el comercio.

La explotación de la laguna de Tecocomulco como un recurso natural; aunque la población considera la conservación de la Laguna, hay elementos que están generando que este cuerpo de agua se esté reduciendo y es un problema muy grave, ya que es aquí donde varias especies se ven afectadas. Se debe considerar que la posible perturbación en la calidad del agua en este sitio también empeorará la forma de vida que habita aquí.

Algunas de las prácticas de manejo y protección de suelos que pueden ser implementadas para disminuir el nivel de erosión son:

1. Proteger la superficie del suelo con una cobertura vegetal ayudando a disminuir el arrastre del agua de escorrentía y aumentando la infiltración del agua en el suelo.
2. Reducir el largo de la pendiente mediante la prácticas de uso de barreras vivas, muros de retención, zanjas de ladera, terrazas de base angosta, callejones o hileras de árboles.
3. Reducir la inclinación de la pendiente con la implementación de terrazas se evita la escorrentía y se aumenta la infiltración del agua en el suelo. Las terrazas, al mismo tiempo, ofrecen una plataforma cultivable y una reducción de la inclinación de la pendiente del suelo utilizando terrazas de banco y de base angosta, camellones, mini terrazas o terrazas individuales.
4. Incorporar materia orgánica al suelo ayuda mejorar la fertilidad del suelo. La materia orgánica se vuelve humus, que funciona como una esponja, favoreciendo la infiltración del agua en el suelo y su retención.

Literatura citada

- Becerra, M.A. (1997). *Erosión de suelos*. Universidad Autónoma de Chapingo. México, D.F.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2006). Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de evaluación y modelación hidrogeológica. *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Tecocomulco, Estado de Hidalgo*. 1-25.
- Cortés T. (1991). *Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados*. (Tesis de Maestría). Colegio de Postgraduados. México.
- Delgadillo, A. E. (2012). Determinación de parámetros fisicoquímicos, estado eutrófico y metales pesados de la laguna de Tecocomulco, Hidalgo; identificación de compuestos quelantes de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Desmet, PJJ y Govers, G. (1996). Un procedimiento GIS para calcular automáticamente el factor USLE LS en unidades de paisaje topográficamente complejas. *Revista de conservación de suelo y agua*, 51 (5): 427-433
- FAO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Roma.
- FAO (1984). Estudio de metodologías para pronosticar el desarrollo de la acuicultura. *FAO Documentos Técnicos de Pesca*, (248): 50 p.
- Figueroa S. B. (1991). *Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión*. Secretaría de Agricultura y de Recursos Hidráulicos. Colegio de Postgraduados (CREZAS). México.
- Foster, G. R., Meyer, L. D., y Onstad, C. A. (1977). A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates. *Transactions of the ASAE*, 20(4), 683-0687.
- INEGI. (2018). *Capa de Uso de Suelo y Vegetación, Escala 1:250,000 Serie VII (Continuo Nacional)*. México.
- López, F. M., y Martínez, F. R. (2022). Modelo de acciones de socioecogestión para recuperación y conservación del paisaje del humedal de Tecocomulco. *Revista ECOVIDA*, 12(1), 44-63.
- McCool, D., Foster, G., Mutchler, C y Meyer, L. (1989). Factor de longitud de pendiente revisado para la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. *Transacciones de la ASAE* , 32 (5): 1571-1576.
- McCool, D., Brown, L., Foster, G., Mutchler, C. y Meyer, L. (1987). Factor de pendiente revisado para la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. *Transacciones de la ASAE*, 30(5): 1387-1396.
- Montes-León, M., Uribe-Alcántara, E. y García-Celis, E. (2011). Mapa nacional de potencial de erosión. *Tecnología y ciencias del agua*, 2 (1): 05-17.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2016). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales Indicadores Clave de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. México.