



Artículo: ANEI-S50109

XI CONGRESO NACIONAL DE IRRIGACIÓN Simposio 5. Manejo Integral de Cuencas

Guanajuato, Guanajuato, México, 19 -21 de Septiembre de 2001

RELACION SEDIMENTOS – EROSION EN LA CUENCA ALTA DEL PAPALOAPAN

M. R. Martínez Ménez¹, R. López Martínez², E. Hernández Fuentes³

Resumen

Para la planeación de los recursos hidráulicos en México, una de las prioridades importantes es la medición de las variables hidrometeorológicas, tales como los transportes de los volúmenes de sólidos y líquidos de los principales sistemas hidrológicos y estimar las tasas de degradación de los sistemas terrestres así como su implicación en el azolvamiento de las obras de infraestructura hidráulica.

El análisis de los parámetros hidrológicos (como volumen de agua escurrida, escurrimientos máximos instantáneos y producción de sedimentos, entre otros), puede ser utilizado para planear el uso y destino de los volúmenes de escurrimiento y del mejor aprovechamiento de las obras hidráulicas.

La producción de sedimentos puede ser un indicador del impacto de los cambios de uso de suelo en las áreas de drenaje de las cuencas y de las modificaciones en los sistemas de drenaje que originan los incrementos en las tasas de degradación. Si la producción de sedimentos se relaciona con el área de drenaje se genera lo que se conoce como tasa de degradación, la cual puede estar asociada con la erosión del suelo, a través de la relación de la producción de sedimentos y la erosión definida como tasa de entrega de un área de drenaje.

En este estudio se seleccionaron estaciones hidrométricas localizadas en las subcuencas de los Ríos Salado, Grande y parte alta del Papaloapan. En cada subcuenca se estimó la erosión hídrica a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) con la aplicación de Sistema de Información Geográfico y se analizaron los datos de producción de sedimentos registrados en el periodo de 1949-1977. La información generada, permitió encontrar una función potencial de ajuste que relaciona la producción de sedimentos y la erosión en función del área de drenaje.

1 Colegio de Postgraduados, Carr. México-Texcoco km 35.5, Montecillos, Méx. 56230, mmario@colpos.colpos.mx

2 Colegio de Postgraduados, Carr. México-Texcoco km 35.5, Montecillos, Méx. 56230 rlopez@todito.com

3 Universidad Autónoma Chapingo, Carr. México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Méx. 56230 elohf@latinmail.com

Introducción

En México se han realizado diversos estudios para encontrar la relación entre la producción de sedimentos de un área de drenaje y la erosión hídrica que se presenta en la cuenca. Con la instalación de estaciones hidrométricas en las diferentes Regiones Hidrológicas del país, se ha colectado información valiosa sobre volúmenes de escurrimiento, escurrimiento máximo y producción de sedimentos, entre otros, misma que puede ser aprovechada al integrar estos datos observados con parámetros de pérdida de suelo estimados con modelos predictivos apoyado en los Sistemas de Información Geográficos.

La utilidad de establecer la relación entre la producción de sedimentos y la erosión estimada en un área de drenaje radica en que al encontrar correlaciones adecuadas, puede servir para estimar los volúmenes de sedimentos producidos en las diferentes cuencas y subcuencas de estas Regiones Hidrológicas y establecer prioridades de manejo adecuado para aquellas que representen problemas con respecto al uso y manejo sustentable de los recursos naturales y de afectación a la infraestructura hidráulica en todo el sistema hidrológico involucrado, siempre y cuando exista la posibilidad de estimar la erosión de los suelos en las cuencas hidrográficas..

Materiales y Métodos

Estaciones hidrométricas

La cuenca alta del Papaloapan se conforma por las subcuencas de los Ríos Salado, Grande y Papaloapan, con una superficie total de 14.26 km². Geográficamente se localiza entre los 17° 6' 7'' y 18° 59' 30'' de Latitud Norte y 96° 16' 47'' y 97° 48' 27'' de Longitud Oeste. En esta región, se seleccionaron 10 estaciones hidrométricas (Figura 1), mismas que en su área de influencia definen 10 subcuencas, para las cuales se colectó información sobre producción de sedimentos en el periodo de 1949 a 1977 de los boletines hidrológicos publicados por la Comisión del Papaloapan (Tabla 1).

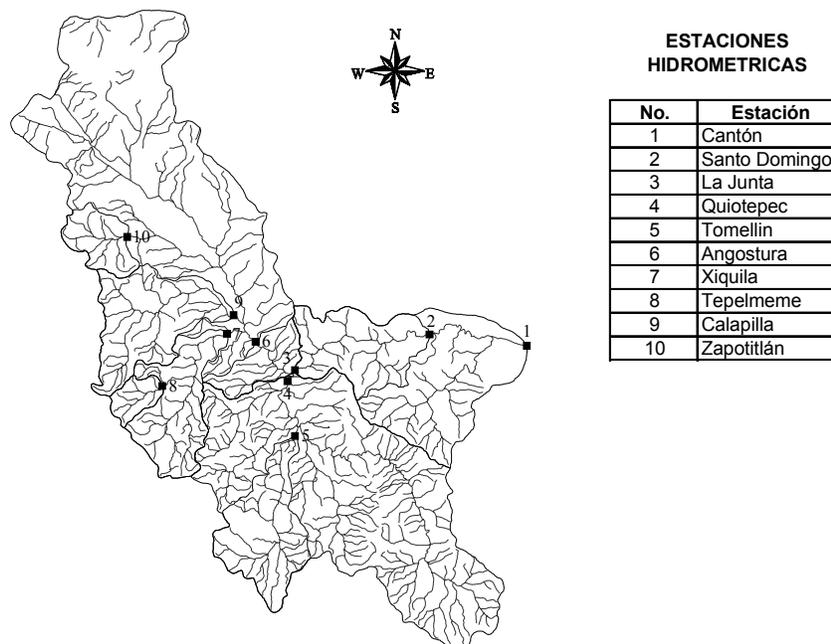


Figura 1. Localización de estaciones hidrométricas seleccionadas en la región de estudio.

Tabla 1. Relación de estaciones hidrométricas seleccionadas en la región de estudio.

No.	Estación hidrométrica	Río	Superficie (ha)	Latitud Norte	Longitud Oeste	No. de años con registro	Periodo de observación
1	Cantón	Santo Domingo	1,426,175.3	17° 59' 57"	96° 16' 49"	29	1949-1977
2	Santo Domingo	Santo Domingo	1,281,766.9	18° 01' 57"	96° 34' 05"	24	1954-1977
3	La Junta	Santo Domingo	1,192,786.4	17° 55' 38"	96° 57' 56"	24	1954-1977
4	Quiotepec	Grande	500,436.7	17° 53' 43"	96° 59' 20"	29	1949-1977
5	Tomellin	Tomellin	89,649.5	17° 43' 57"	96° 57' 59"	17	1961-1977
6	La Angostura	Salado	664,736.3	18° 00' 41"	97° 04' 58"	22	1956-1977
7	Xiquila	Xiquila	96,816.9	18° 02' 05"	97° 10' 02"	22	1956-1977
8	Tepelmeme	Tepelmeme	16,823.4	17° 52' 49"	97° 21' 32"	22	1956-1977
9	Calapilla	Calapilla	101,019.0	18° 05' 21"	97° 08' 54"	14	1956-1969
10	Zapotitlán	Zapotitlán	34,796.3	18° 19' 15"	97° 27' 48"	17	1956-1977

Fuente: Boletín Hidrológico de la Comisión del Papaloapan, 1977.

Es importante señalar que las estaciones hidrométricas seleccionadas presentan áreas de drenaje que varían desde 16 mil hasta más de 1 millón de hectáreas, asimismo, se consideraron las estaciones de aforo que contaran con más de 10 años de observación, por lo cual no se incluyeron todas las estaciones de aforo (18) de la zona alta del Papaloapan.

Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

La EUPS es un modelo matemático desarrollado por Wischmeier y Smith (1978), para estimar y/o predecir las pérdidas de suelo promedio anuales por erosión hídrica, como resultado de la combinación de factores cuantitativos como son la erosividad de la lluvia (R) y la erosionabilidad del suelo (K), de factores físicos, como la longitud (L) y la inclinación de la pendiente del terreno (S), y factores manipulables como son la cobertura y manejo del suelo y cultivo (C) y las prácticas mecánicas de conservación (P).

Para la captura, manejo, procesamiento (recortes, interpolaciones, ponderaciones, sobreposiciones y extracción de valores) y despliegue de los datos espaciales referidos a los factores de la EUPS, se utilizó el programa Atlas-Gis y el Sistema de Información Geográfico (SIG) IDRISI.

Erosividad de la lluvia, Factor R

La erosividad de la lluvia, definida como la capacidad o agresividad de ésta para causar erosión, es representada por medio de índices de erosividad. El parámetro de erosividad (R) se calcula a partir del concepto de energía asociada a tormentas y la intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos (EI_{30}). La suma de los valores de EI_{30} , que se presentan en el año dan como resultado el valor de erosividad de la lluvia. En México, debido al escaso número de estaciones meteorológicas que cuentan con pluviógrafos, Cortés (1991) regionalizó el territorio nacional en 14 áreas y con análisis de regresión estimó el valor de R en función de la precipitación anual (P). En dicho estudio, la cuenca Alta del Papaloapan se ubicó en la Región XIV y su ecuación correspondiente es:

$$R = 1.5005P + 0.002640P^2 \quad (1)$$

Donde:

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

P = Precipitación anual (mm)

Los datos medios anuales de precipitación se obtuvieron de la base de datos climáticos del ERIC (IMTA, 1995), para 44 estaciones meteorológicas localizadas dentro y en la periferia de la región de estudio. A través del SIG se obtuvieron los valores medios ponderados de precipitación anual para cada una de las subcuencas y se estimó su valor de R.

Erosionabilidad del suelo, Factor K

El término erosionabilidad del suelo (factor K), se usa para indicar la susceptibilidad de un suelo a ser erosionado (Figueroa, 1991), la cuál está influida por algunas propiedades del mismo, tales como distribución del tamaño de las partículas primarias, materia orgánica, estructura del suelo, óxidos de hierro y aluminio, uniones electroquímicas, conductividad hidráulica en condiciones de saturación, contenido inicial de humedad y procesos de humedecimiento y secado.

Para este estudio, se capturó la información de suelos del Atlas Nacional del Medio Físico en escala 1:1'000,000 de INEGI (1981), de donde deriva que el 27.8% de la zona de estudio corresponde a un Litosol, un 17.6% a Regosoles, el 17.2% a Cambisoles y un 17.1% a Luvisoles. En general estos suelos son someros, localizados principalmente en las sierras y laderas, con susceptibilidades moderadas hasta muy altas a ser erosionadas.

El factor de erosionabilidad del suelo, expresado en t ha hr/MJ mm ha, se calculó mediante la metodología propuesta por la FAO (1980), donde el factor K se asigna a partir de la textura superficial (utilizando tres grupos texturales) y la unidad de suelo a que pertenecen, según la clasificación FAO/UNESCO.

Factor topográfico, LS

La longitud de la pendiente (factor L) se define como la distancia desde el punto de origen del escurrimiento superficial, al punto donde el grado de la pendiente decrece lo suficiente para que la depositación empiece, o el escurrimiento entre en un canal bien definido, el cual puede ser parte de una red de drenaje natural o un canal construido. Este factor en combinación con el factor S que representa el grado de inclinación de la pendiente se le denomina como el factor topográfico del terreno (LS). En este trabajo se utilizó la forma simplificada del factor LS para pendientes menores del 20% y longitudes de pendiente menores de 350 con la siguiente ecuación:

$$LS = (\lambda)^{0.5} (0.0138 + 0.00965S + 0.000138S^2) \quad (2)$$

donde:

λ = longitud de la pendiente (m)

S= pendiente (%)

Y para pendientes mayores del 20% se aplicó la ecuación:

$$LS = \left[\frac{\lambda}{22.1} \right]^{0.6} \left[\frac{S}{9} \right]^{1.4} \quad (3)$$

El modelo de elevaciones que sirvió como base para determinar las pendientes del terreno para la región Alta del Papalopan se generó a partir de los Geomodelos de Altimetría del Territorio Nacional (GEMA) editados por el INEGI (1994). Con esta información se determinó que más del 80% del territorio de la cuenca alta del Papalopan se localiza en las cotas de 1,000 a 3,000 msnm.

Con respecto a las pendientes del terreno, 14% se ubica por debajo del 5%, un 22% presenta pendientes en el rango de 15-25% y en la mitad de la región de estudio la pendiente fluctúa de 25 a 45%.

Factor de cobertura del suelo, C

El factor C representa la capacidad de la vegetación para amortiguar el efecto de desprendimiento de partículas de suelo por las gotas lluvia y para impedir el arrastre de sedimentos con el escurrimiento superficial. Los usos del suelo y vegetación del área de estudio se obtuvieron del Atlas Nacional del Medio Físico en escala 1:1'000,000 de INEGI (1981).

La información indicó que el 34.7% de la región estaba constituida de áreas con especies forestales como pino, encino, oyamel y asociaciones entre ellos, aunque también con áreas forestales perturbadas; un 29% estaba integrada por selvas baja y alta caducifolias y perennifolias, y un 20% era ocupado por agricultura tanto de temporal como de riego, además de las áreas agrícolas con erosión. Los usos de suelo registrados fueron asociados a su valor correspondiente del factor C, obtenido de tablas de diversas fuentes, considerando además una cobertura del 35% para la subcuenca del Río Salado y un 60% para las subcuencas de los Ríos Grande y Papaloapan, referidos principalmente por sus condiciones hídricas, como fue reportado por la Comisión del Papaloapan en su estudio de erosión en el alto Papaloapan (1965).

Factor de prácticas mecánicas de conservación, P

El factor P se refiere a las prácticas mecánicas y de labranza en el manejo del suelo, que modifican la estructura del suelo retrasando o incrementando la susceptibilidad del material de ser arrastrado. El valor de P en este estudio fue de 1, considerando la ausencia de prácticas mecánicas y de esta manera estimar la erosión máxima.

Generados los mapas para los factores K, LS y C, se obtuvieron los valores medios ponderados por subcuenca con el SIG. La erosión hídrica fue estimada con la multiplicación lineal de los factores R, K, LS, C y P.

Con la información colectada de los boletines hidrológicos, sobre producción de sedimentos de las subcuencas en el periodo de 1949 a 1977, y la erosión estimada, se calculó la tasa de entrega de sedimentos, definida como la relación entre la producción de sedimentos y la erosión por unidad de área.

Resultados y Discusión

En la cuenca alta del Papaloapan, la subcuenca del Río Salado, presenta condiciones de aridez derivada de una precipitación media de 500 mm anuales, en contraste con las subcuencas de los Ríos Grande y Papaloapan que presentan mayores condiciones de humedad, con una precipitación media superior a los 1,000 mm anuales, estableciéndose un patrón similar en los valores de erosividad estimados (Tabla 2).

La erosión estimada con la EUPS, indica que en el periodo de análisis se supera el límite permisible de pérdida de suelo (10 t/ha año) en toda la cuenca, situación que se manifiesta con mayor intensidad en las subcuencas definidas por las estaciones totalizadoras de Cantón, Quiotepec, Santo Domingo y La Junta, propiciado directamente por la mayor precipitación y las condiciones del relieve que se registra en las subcuencas correspondientes a los Ríos Grande y Papaloapan, los cuales inciden en los factores de erosividad, de longitud y grado de pendiente utilizados en la EUPS.

Por otro lado también se encontró, que las tasas de degradación observados en el periodo de análisis superan las 2.65 t/ha año estimado como media nacional por Martínez y Fernández (1983), presentándose una mayor degradación en las subcuencas de Xiquila (7) y Zapotitlán (10), localizados en la subcuenca del Río Salado, con pérdidas mayores a las 10 t/ha por año, aunque la estación totalizadora La Angostura (6) registra en promedio uno de los niveles más bajos de degradación en toda la zona de estudio, con solo 3.28 t/ha año. Esto puede estar asociado con la densidad de drenaje de las dos subcuencas señaladas.

Tabla 2. Erosión estimada, producción y tasa de entrega de sedimentos de las estaciones hidrométricas.

Estación hidrométrica		Superficie	Factores				Erosión, E	Producción de sedimentos, S		Tasa de entrega, TE
No.	Nombre	(ha)	R	K	LS	C	(t/ha año)	(miles de t)	(t/ha año)	(S/E)
1	Cantón	1,426,175.3	4,704.9	0.034	10.900	0.073	126.87	6,689.7	4.69	0.037
2	Sto. Domingo	1,281,766.9	3,071.4	0.034	10.600	0.077	85.10	6,934.3	5.41	0.064
3	La Junta	1,192,786.4	2,552.6	0.034	9.800	0.080	68.64	6,494.0	5.44	0.079
4	Quiotepec	500,436.7	4,225.6	0.039	13.600	0.038	85.49	3,922.4	7.84	0.092
5	Tomellin	89,649.5	1,787.6	0.019	9.600	0.043	13.89	599.1	6.68	0.481

Tabla 2. Continuación...

6	La Angostura	664,736.3	1,500.0	0.034	7.000	0.109	38.35	2,178.0	3.28	0.085
7	Xiquila	96,816.9	1,369.5	0.034	6.800	0.104	32.49	1,415.0	14.61	0.450
8	Tepelmeme	16,823.4	1,460.5	0.041	2.900	0.104	17.88	136.6	8.12	0.454
9	Calapilla	101,019.0	1,082.1	0.029	11.600	0.114	41.64	399.9	3.96	0.095
10	Zapotitlán	34,796.3	1,221.1	0.033	5.900	0.116	27.91	470.9	13.53	0.485

Al relacionar la producción de sedimentos con erosión en términos de tasa de entrega, y el área de drenaje de las subcuencas definidas por las estaciones hidrométricas, se obtuvo un ajuste adecuado de tipo potencial, en el cual los menores valores de tasa de entrega son para las subcuencas de gran tamaño y una condición contraria para las subcuencas pequeñas en la que la producción de sedimentos es más cercana a la tasa de erosión (Figura 2).

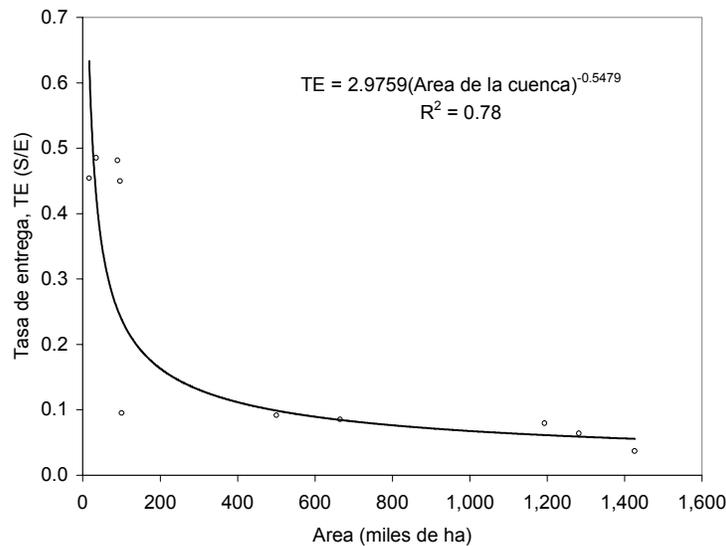


Figura 2. Ajuste de área de drenaje con tasa de entrega.

Es importante reconocer que no toda la erosión estimada pasa a ser sedimento ya que a medida que aumenta el área de drenaje se posibilita un mayor proceso de depositación antes de que este llegue a la salida del sistema. En este caso los valores utilizados son promedios de los valores anuales de los periodos de registro de cada estación hidrométrica, por lo cual resulta importante analizar la variación en tiempo de las tasas de degradación en cada una de las áreas de drenaje y su tendencia en el tiempo. Así, para la región de estudio definida por la estación totalizadora Cantón, se encontró en el periodo de 1949 a 1977, una tendencia a la alza en la tasa de degradación, con una media de 4.4 t/ha por año y un incremento de 0.02 t/año; asimismo, en lo que se refiere a volumen de escurrimiento en el mismo periodo, se registró un volumen promedio de 5,597 millones de metros cúbicos con una tendencia a la alza de 36 millones de metros cúbicos anuales.

Conclusiones

Los Sistemas de Información Geográficos son una herramienta útil en el manejo y manipulación espacial de los factores involucrados en la estimación de la erosión y pueden utilizarse para predecir la producción de sedimentos en cuencas no aforadas.

Con la información de producción de sedimentos observados en las estaciones hidrométricas y la estimación de la erosión hídrica, con base en modelos predictivos como la EUPS y la utilización de los Sistemas de Información Geográficos, se puede establecer la relación entre la producción de sedimentos y erosión para un área de drenaje.

Con este tipo de curva de ajuste se puede estimar la producción de sedimentos de un área de drenaje con condiciones biofísicas y climáticas similares, asimismo, se puede predecir la producción de sedimentos a partir de la estimación de la erosión hídrica de una cuenca.

La producción de sedimentos es un buen estimador de la degradación de los suelos ya que indica la cantidad de suelo que sale del sistema y su tendencia en el tiempo permite conocer si se está haciendo un uso adecuado de los recursos naturales de un área de drenaje.

Referencias

- Comisión del Papaloapan. 1965.** La erosión en el alto Papaloapan. México, D.F. 98 p.
- Comisión del Papaloapan. 1977.** Boletín Hidrológico de la Comisión del Papaloapan. México, D.F. pp. 800-815.
- Cortés T., H. G. 1991.** Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 168 p.
- FAO. 1980.** Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma, Italia. 86 p.
- Figueroa, S. B. 1991.** Manual de Predicción de Pérdidas de Suelo por Erosión. SARH-Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 150 p.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 1995.** Extractor Rápido de Información Climatológica. ERIC ver. 1.0 Jiutepec, Mor., Méx.
- Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI). 1981.** Atlas Nacional del Medio Físico. México, D.F. 224 p.
- Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI). 1994.** GeoModelos de Altimetría del Territorio Nacional (GEMA). Aguascalientes, Ags., Méx.
- Martínez M., M. y V. J. Fernández. 1983.** Jerarquización de acciones de conservación de suelos a partir de cuencas hidrológicas. Manuscrito. DGCSA, SARH. México. 12 p.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978.** Predicting Rainfall Erosion Losses-A Guide to Conservation Planning. USDA Agric. Handbook No. 537. 58 p.