

Miguel Alvarado Cardona, J. Aurelio Colmenero Robles, Ma. de la Luz Valderrábano Almegua
La erosión hídrica del suelo en un contexto ambiental, en el Estado de Tlaxcala, México
Ciencia Ergo Sum, vol. 14, núm. 3, noviembre-febrero, 2007, pp. 317-326,
Universidad Autónoma del Estado de México
México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10414309>



Ciencia Ergo Sum,
ISSN (Versión impresa): 1405-0269
ciencia.ergosum@yahoo.com.mx
Universidad Autónoma del Estado de México
México

La erosión hídrica del suelo en un contexto ambiental, en el estado de Tlaxcala, México

Miguel Alvarado Cardona*, J. Aurelio Colmenero Robles** y
Ma. de la Luz Valderrábano Almegua*

Recepción: 19 de febrero de 2007

Aceptación: 26 de abril de 2007

*Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD), Instituto Politécnico Nacional, Becario COFAA.

Correo electrónico: ipn_mac@yahoo.com y mvalderrabano@ipn.mx

**Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP), Instituto Politécnico Nacional Becario COFAA. Correo electrónico: acolmenero@ipn.mx

Resumen. La erosión es considerada como la remoción del suelo por agentes del medio físico, en el ámbito mundial constituye uno de los problemas ambientales más severos. 80% de la superficie del planeta presenta este fenómeno. Se ha estimado que hasta un 98% de la superficie territorial de México está afectada en distintos niveles. En el estado de Tlaxcala se reconoce que 93.7% de su superficie está erosionada en diferente grado, así que para el presente estudio el problema se abordó con un criterio ambiental y de carácter interdisciplinario.

El procedimiento metodológico utilizado estuvo integrado por dos etapas, una descriptiva de los elementos ambientales y otra evaluativa del proceso de erosión en donde se aplicó el método de la FAO y los modelos empíricos del Índice de Erosión de Suelos y la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. Los resultados muestran que existen valores de erosión que varían de 1 ton/ha/año hasta 650 ton/ha/año, predominando estos últimos, lo que indica que el área de estudio presenta una erosión muy severa que requiere de aplicación de medidas urgentes de prevención y restauración de los suelos degradados.

Palabras clave: interdisciplinariedad, problemática ambiental, erosión, Tlaxcala, México.

The Hydric Erosion of Soil in an Environmental Context in the State of Tlaxcala, Mexico

Abstract. The erosion is considered as removal of soil by physical cause agents. In the world-wide scope it constitutes one of the most severe environmental problems; 80 % of planet surface presents this phenomenon. In Mexico has been considered the 98 % of surface is affected in different levels. In Tlaxcala, is recognized that the 93.7 % of its surface is eroded to different extent. In this study the hydric erosion problem was approached under environmental criteria and within interdisciplinary point of view.

The methodological procedure consisted in two phases: the descriptive, including the environmental element; and evaluations of erosion process where was applied the method of the FAO and empirical models under the Index of Soil Erosions and the Universal Equation of Loss of Soil. The results show that values of hydric erosion exist and vary from 1 ton/ha/year up to 650 ton/ha/year, predominating this last one, which indicates that the area of study presents a very severe erosion that requires application of urgent measures of prevention and restoration of soil degraded.

Key words: interdisciplinary, environmental problematic, erosion, Tlaxcala, Mexico.

Introducción

El concepto “ambiental” requiere ser abordado desde la relación sociedad-naturaleza en un determinado tiempo y espacio, donde el hombre hace uso de los recursos natura-

les, transformando su entorno para satisfacer sus necesidades y mejorar su calidad de vida. Una visión interdisciplinaria en este tema involucra la participación de un equipo de expertos que analizan el problema en forma integrada y aportan los métodos y técnicas de las distintas disciplinas

científicas para identificar determinada problemática ambiental; implica considerar tanto los aspectos naturales como los derivados de las actividades sociales, lo que requiere una actitud técnica e innovadora para investigar (Apostel *et al.*, 1975).

Las actividades productivas que se desarrollan en el estado de Tlaxcala son: la agricultura, la ganadería, la silvicultura y el desarrollo urbano, las cuales se realizan en forma inadecuada originando que el suelo se degrade desde un punto de vista físico, químico y biológico, lo que se manifiesta en forma de erosión del suelo. Este problema ambiental es el más grave en el área de estudio en la que además existen condiciones naturales que contribuyen a que este proceso se acelere, como son: áreas con pendiente pronunciada, sitios sin cobertura vegetal, tipos de suelos susceptibles a la erosión y a la precipitación pluvial elevada. Asimismo, en esta región se lleva a cabo un manejo inadecuado del suelo y se carece de técnicas para el control de la erosión.

La erosión del suelo es un problema severo ya que más del 80.5% (106 440 000 km²) de la superficie del planeta presenta este fenómeno, originado tanto por causas naturales como antropogénicas (FAO, 1984; IRM, 1993). A largo plazo resulta ser un problema ambiental serio en muchas partes del mundo pues se estima que para el año 2010 alrededor de 140 millones de hectáreas de suelo de buena calidad serán degradadas principalmente en países de África y Asia. En el caso de México y Centroamérica se calcula que en los últimos 45 años se han alterado casi 61 millones de hectáreas. Debido a lo anterior es posible considerar a la erosión como un importante problema social, económico y factor determinante en el deterioro de los ecosistemas terrestres. En síntesis, es un proceso interactivo entre los factores del ambiente y las actividades antrópicas. Sus efectos directos inciden en la pérdida de retención de agua en el suelo y la disminución de la productividad de los procesos agrícolas; mientras los indirectos incluyen la acumulación de sedimentos en ríos, lagos o humedales, deteriorando su calidad (Maass, 1998 y Chmelová y Sarapatka 2002).

La erosión también se hace evidente en los países de Europa por los efectos negativos directos sobre sus economías, elevándose sus costos de producción (Crosson, 2003 y Eaton, 1996). En Norteamérica, a pesar de las constantes prácticas en el mejoramiento y conservación del suelo, son

Históricamente, la transformación del paisaje del estado de Tlaxcala ha sido investigado desde varios puntos de vista: arqueológico, paleopedológico e histórico en los cuales se identifican cuatro periodos de erosión intensa, dos de ellos se desarrollan durante la época prehispánica, otro durante la Colonia y el último en el siglo xx.

evidentes las pérdidas desde los años ochenta (CCE, 2002).

En cuanto a las estimaciones de la erosión del suelo en la República Mexicana podemos mencionar que hacia el año de 1945 la erosión ya alcanzaba el 45% de su superficie total; en tanto que en 1965, la cantidad estimada era de 69% con distintos grados de erosión y

para 1986 se podría estimar entre un 81% o incluso hasta 98%, como consecuencia del uso desmedido de los recursos naturales, así como la aplicación de políticas públicas equivocadas sobre el uso del suelo (INEGI, 1999). Sin embargo, una estimación reciente sobre esta problemática establece que el territorio mexicano presenta una erosión crítica de casi 73.34% (143.69 millones de ha), de la cual la erosión hídrica sólo representa 36.98% desde la remoción de la capa superficial del suelo, la formación de cárcavas hasta la sedimentación (Nieves *et al.*, 2001).

Históricamente, la transformación del paisaje del estado de Tlaxcala ha sido investigado desde varios puntos de vista: arqueológico, paleopedológico e histórico. Luna (1997), denota la existencia de un proceso contemporáneo que abarca cuatro periodos de erosión intensa, dos de ellos se desarrollan durante la época prehispánica, otro durante la Colonia y el último en el siglo xx, teniendo como factor principal la presión demográfica. Heine (2003) afirma que este problema era conocido desde el año 1700 a. C. y menciona que la primera fase de erosión se presentó entre los años 650 a. C. y 250 d. C. y la segunda fase entre los años 1300 d. C. y 1900 d. C.

El evento comienza con la llegada de los primeros europeos a las tierras del hoy Altiplano mexicano y a la región Puebla-Tlaxcala, debido a la sustitución de los sistemas tradicionales en el cultivo de maíz, frijol, calabaza y chile por el monocultivo de trigo y la forma de pastoreo de ganado caprino y ovino, hasta entonces desconocidos por los indígenas; así como por la gran devastación de recursos forestales de las montañas aledañas, a fin de abastecer de madera a los poblados, ciudades y minas, lo que dio origen a extensas barrancas y generó gran cantidad de material erosionado que se depositó en los distintos valles (García, 1997; Werner, 1988 y Heine, 2003). En la actualidad siguen siendo distintos factores que aún inciden en la problemática ambiental de Tlaxcala (Espejel y Carrasco, 1999).

Los primeros estudios que permitieron cuantificar los grados de erosión hídrica para Tlaxcala fueron llevados a cabo por Zárata (1991), quien utilizó el enfoque de paisaje y su relación con las zonas de igual intervalo de pendiente para obtener Unidades Homogéneas (UH). Los resultados de erosión para la época de sequía, noviembre-abril, fueron de 1.43 a 203.17 ton/ha/año y en la época de lluvias, mayo-octubre, se registraron intervalos de 5.64 a 756 ton/ha/año, dependiendo de la zona geográfica analizada.

Espinosa (1992), emplea el levantamiento fisiográfico y mediante este método evalúa la erosión hídrica en veintitrés sistemas terrestres con un alto grado de erosión; particularmente destaca el Sistema Española (49 862 ha) donde los procesos de erosión y los valores encontrados señalan que 12% de su superficie es afectada y el Sistema Tlaxco (65 321 ha), presenta valores superiores al 19%, dichos valores están correlacionados con la presencia de materia orgánica y arena en el suelo. Este autor concluye que la forma laminar afecta al 78% (313 773 ha) de la superficie estatal.

El territorio del estado de Tlaxcala se ha erosionado en 93.7% por causas naturales como suelos arenosos o arcillosos, áreas carentes de cobertura vegetal, ubicados sobre terrenos con geoformas con pendientes que varían de 3% a más de 60%, con precipitación pluvial anual mayor de 500 mm y por distintas actividades productivas realizadas de manera inadecuada, por ejemplo, la agricultura, ganadería, silvicultura y el crecimiento urbano no planificado (Alvarado, 1996 y Alvarado, 2000).

1. Materiales y métodos

El procedimiento metodológico que se utilizó en la investigación está integrado por las siguientes etapas:

1.1. Etapa descriptiva

A partir de la información cartográfica, de los recorridos de campo y de la consulta de distintas fuentes bibliográficas, se describen las características de los elementos del:

- a) Medio natural: clima, geomorfología, geología, hidrología, edafología y vegetación
- b) Medio social: población, vivienda, salud, educación, cultura y religión
- c) Medio económico: actividades productivas del sector primario (agricultura, ganadería y silvicultura), secundario (industria), terciario (turismo), PIB, PEA y salarios.

1.2. Etapa de evaluación

Para determinar la erosión actual se utilizó el método de la FAO (1980) basado en un análisis de imágenes de satélite, fotografías aéreas y recorridos de campo, aplicando la técnica de fotointerpretación que consiste en un análisis visual e interpretación de los patrones fotográficos utilizando un estereoscopio de espejos y lentes. Para esto se emplearon fotografías aéreas monocromáticas escala 1: 40 000 y 1:70 000, obtenidas por INEGI en 1987 y 1995 respectivamente, de manera similar se llevó a cabo la interpretación visual y una clasificación supervisada utilizando el software Arcinfo y las imágenes de satélite Landsat 5, (Compañía Eosat), sensor Thematic Mapper (TM), de 1999, escala 1:100,000, con una resolución espectral bandas 2, 3, 4 en falso color y espacial de 25 x 25 m.

Durante la fase de evaluación de la erosión actual se llevó a cabo un análisis de la vegetación del área de estudio en la temporada seca y húmeda, formas del relieve, pendientes, características de los suelos y patrones fotográficos; con estos elementos se determinó el tipo, forma de erosión y zonas de erosión actual, también se ubicaron 100 sitios de muestreo y 45 de observación. En relación con los primeros se seleccionaron los 50 más representativos (carta de uso del suelo. Ver anexo), a partir de los cuales se trazó el itinerario del recorrido de campo, con la finalidad de verificar lo identificado en las imágenes de satélite y fotografías aéreas, así como obtener información para evaluar la erosión actual en cada uno de los sitios de muestreo.

En cada sitio seleccionado se midió el espesor de los horizontes A, B y C, los cuales fueron comparados con otros perfiles semejantes no erosionados. Por último se determinaron los porcentajes de la pérdida de los horizontes superficiales y se determinó la clase de erosión actual para cada punto. Esta nueva información permitió reinterpretar las fotografías aéreas monocromáticas e imágenes de satélite, así como elaborar una carta de erosión actual de suelo escala 1:150 000, destacando las formas y clases de erosión.

Distintos enfoques han permitido establecer la caracterización de los grados de erosión y sus efectos en el ámbito estatal, nacional y mundial (FAO, 1980); sin embargo, en fechas recientes se han clasificado los métodos de investigación contemporáneos en la evaluación de la erosión en: empírico, conceptual y físico (Veihe, 2001 y Chmelová y Sarapatka, 2002). En este estudio se aplicó el método empírico al evaluar la velocidad de este fenómeno y aplicar el índice de erosión de suelo (IES), de acuerdo con el método de SEDUE (1988), así como la Ecuación

El territorio del estado de Tlaxcala se ha erosionado en 93.7%. Las causas son diversas y van desde naturales hasta productivas.

Figura 1. Localización del área de estudio.



Fuente: Enciclopedia de México Siglo XXI.

ción Universal de la Pérdida de Suelos (EUPS), que fue tomada de Kirby (1984) y Rey (1986).

El primer método (IES) permitió calcular el periodo de crecimiento (PECRE) y el índice de agresividad de la lluvia (IALI), así como determinar los calificativos por erodabilidad (CAERO), textura (CATEX), topografía (CATOP), uso del suelo (CAUSO) y finalmente las clases de erosión actual. Asimismo, con el segundo método (EUPS) se evaluó la cantidad de suelo removido (ton) por hectárea y año y se identificaron las clases de la velocidad de erosión hídrica, con base en las características de los elementos del medio físico y la aplicación de la siguiente ecuación:

$$A = (0.224) RKLSCP$$

Donde:

A = Pérdida de suelo (ton/ha/año).

(0.224) = Una constante.

R = Factor de erosividad por precipitación pluvial.

K = Factor de erodabilidad del suelo.

L = Factor de longitud de pendiente.

S = Factor de gradiente de pendiente.

C = Factor de manejo de cosechas.

P = Factor de método de control de erosión.

2. Área de estudio

El estado de Tlaxcala ocupa una superficie de 4 060. 923 km²; política y territorialmente se encuentra dividido en 60 municipios, siendo la ciudad de Tlaxcala la capital del estado. Se localiza en la parte centro-oriente de la República Mexicana, entre los 19° 05' 43" y 19° 44' 07" de latitud norte, 97° 37' 07" y 98° 42' 51" de longitud oeste, limita al noroeste con el estado de Hidalgo, oeste con el Estado de México y está rodeado en su mayor parte por el estado de Puebla, (INEGI, 1999) como se muestra en la figura 1.

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización

Una vez recopilada, seleccionada, analizada y sistematizada la información, realizados los trabajos de campo, elaborada la cartografía temática y descrito el medio ambiente, se tienen los siguientes resultados:

3.2. Medio natural

En el área de interés predominan los climas templado subhúmedo y semifrío, con lluvias en verano; las rocas volcánicas como basaltos, andesitas y tobas; formas del relieve como cerros, sierras, volcanes y llanuras con pendientes entre 2 y 50%; fallas y fracturas, suelos delgados de textura arcillo o arenosa; en general son pobres en materia orgánica. Confluyen corrientes de agua como el río Zahuapan y Atoyac; además de abundar los bosques de pino, encino, juníferos y matorral espinoso. En relación con la fauna existen mamíferos (conejo); aves (colibrí) y reptiles (víbora de cascabel).

3.3. Medio social

Este estado cuenta con más de 1 millón de habitantes, donde 49% son hombres y 51% mujeres. La densidad de población es de 217 a 2 110 hab/km², existen 215 312 viviendas. 180 000 habitantes disponen de los servicios básicos; 26% del total de la población es derechohabiente de instituciones de salud, de los cuales 60% son atendidos por SESA; 31% por el IMSS y 9% por el ISSSTE. El nivel de escolaridad es desde preescolar hasta posgrado. En cuanto a sus creencias, 87% de la población es católica, 7% protestante, 3% profesa el judaísmo y el 3% restante otro tipo de religión.

3.4. Medio económico

Las principales actividades económicas en este estado de la república son: agricultura, industria y turismo. Los sectores secundario y terciario son los de mayor aportación al Producto Interno Bruto (PIB), con \$13 534 245 (año 2005). La Población Económicamente Activa (PEA) representa el 23.50% de la población total, donde 53% son hombres y 47% mujeres. De la población ocupada 25% recibe un salario mínimo; 32% de 1 a 2; 20% de 2 a 5 y el 5% más de 5 salarios mínimo.

4. Diagnóstico

Después de la caracterización y análisis de los diferentes elementos del proceso de degradación de suelos, resultó que las principales causas que originan la erosión son las precipitaciones pluviales (entre 800 y 1 000 mm), suelos

arcillosos, pendientes mayores de 15%, prácticas agrícolas y ganaderas llevadas a cabo de manera inadecuada, crecimiento no planificado de los asentamientos humanos, carencia de técnicas de control de la erosión y de una política de uso y aprovechamiento del recurso suelo.

4.1. Erosión actual

Con la implementación de la metodología de la FAO (1980), en el cuadro 1 y en la carta de erosión de suelos (ver anexo), la clase B/C es la dominante en el estado ya que tiene una mayor cobertura. Las clases A (no manifiesta), A/B (leve) y C (muy severa), ocupan el segundo lugar en superficie, y la B (moderada), es menos significativa. Las clases más degradadas B/C y C tienen una cobertura mayor al 50% de la superficie del estado, esto quiere decir que gran parte de los suelos del estado han perdido los horizontes genéticos.

La relación del suelo de textura arcillosa o arenosa con otros elementos ambientales como la precipitación pluvial anual total entre 500 a 1 000 mm, la presencia de pastizales, matorrales, bosques fragmentados, pendientes entre 3 y más del 40%; relieve ondulado, el uso agrícola de temporal y ganadero de tipo caprino extensivo sin ningún manejo, así

como la tala inmoderada, han dado lugar a formas de erosión como surcos, cárcavas y barrancos, pináculos e islotes (ver anexo foto 1).

En el cuadro 2 se observa la relación entre las formas de erosión, la pendiente y el uso actual del suelo, en la carta de erosión del suelo (ver anexo); se tiene la distribución de las formas, erosión actual y la velocidad de la misma. La erosión laminar se presenta en zonas agrícolas de temporal y donde no se aplica ninguna técnica de conservación de suelos.

Cuadro 2. Relación de las formas de erosión.

Tipo	Formas	Municipios	Pendiente(%)	Uso del suelo y vegetación
Hídrica	Laminar	Apizaco, Calpulalpan, Huamantla, Hueyotlipan y Nanacamilpa, Cuapiaxtla, San Antonio Atotonilco, Atlangatepec, El Carmen, Tlaxcala	1-2	Agricultura de temporal, ganadería extensiva, matorral y pastizales
	Cárcavas	Apizaco, Cuapiaxtla, Calpulalpan, Huamantla, Altzayanca, Atlangatepec y Volcán de la Malinche	8-12	Agricultura de temporal y bosque de pino
	Barrancos	Apizaco, Calpulalpan, Nanacamilpa, norte de la ciudad de Tlaxcala, norte de Totolac, norte de Altzayaca, Villa Vicente Guerrero, San Antonio Atotonilco, Santa Ana Chiutempan, San Luis Teolocholco y Volcán de la Malinche	10-25	Bosques de abies, bosque de pino y agricultura de temporal
	Pináculos e islotes	Altzayanca, Lázaro Cárdenas, Apizaco, San Antonio Atotonilco y Tlaxcala	6-10	Agricultura de temporal, pastizal y sin cubierta vegetal

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo y gabinete.

Cuadro 1. Erosión actual por categorías.

Clases erosión actual	Grados	Municipios	Superficie estatal por clases	Superficie estatal (%)
A	Erosión no manifiesta	Calpulalpan, Hueyotlipan, Sanctórum, Tetla, Terrenate y Xicohtzingo.	661.78	16.30
A/B	Erosión leve	Apizaco, Calpulalpan, Muñoz, Nanacamilpa, Tetla y Tlaxco.	844.48	20.80
B	Erosión moderada	Altzayanca, Calpulalpan, Nanacamilpa, Tlaxco, Tzompantepec, Tocatlan y Xalostoc.	284.90	7.00
B/C	Erosión severa	Acuamanal, Chiautempa, Contla, Cuaxomulco, Huamantla, Mazatecochco, Panotla, San Luis Teolocholco, San Pablo del Monte, Santa Cruz Tlaxcala, Tenancingo, Tlaxco, Terrenate, Tequexquitla, Tetlatlahuca, Tepeyanco, Yauhquemecan y Zitlaltepec.	1 295.36	31.90
C	Erosión muy severa	Amamax, Apetitlán, Atlangatepec, Calpulalpan, Españita, Ixtacuixtla, Sanctórum, Tetla, Terrenate, Tlaxco y Totolac.	974.40	24.00
TOTAL			4 060.92	100

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo y gabinete.

Las cárcavas se presentan en geoformas con pendiente moderada, donde los suelos están dedicados a la agricultura de temporal o sustentan un bosque abierto sin ningún manejo.

En geoformas con pendiente moderada se observan los barrancos en cuyo territorio se tiene un bosque fragmentado o agricultura de temporal con una práctica tradicional carente de toda conservación, finalmente los pináculos e islotes se presentan en terrenos con pendiente moderada donde se practica la agricultura de temporal o prospera la vegetación de pastizal. En los municipios de Chautempan, Nanacamilpa, Terrenates

y en la bajada del volcán de la Malinche, existe remoción de suelos por deslizamiento de grandes masas de suelo.

En el cuadro 3 se presentan los efectos en el medio natural y socioeconómico debido a cada una de las clases actuales de erosión hídrica. Esto representa un punto crucial por el impacto de este tipo de erosión sobre el medio ambiente.

Los impactos en el ambiente originados por la clase C, provocan erosión muy severa, con las siguientes características: pérdida total del suelo y afloramientos de la roca, formación de barrancos, pináculos o cárcavas, reducción de la humedad

Cuadro 3. Relación entre las clases de erosión actual y sus efectos en los elementos del medio ambiente.

Clases	Medio natural afectado				Medio socioeconómico afectado
	Suelo	Agua	Geoforma	Vegetación	Sector primario
A	Este proceso ha removido menos del 50 % del horizonte A y del B en algunos sitios.	Sin afectación a los sistemas acuáticos.	Sin modificaciones.	No hay cambios de vegetación.	Continúan las actividades primarias sin afectación (agricultura, ganadería y silvicultura). No hay afectación a la sociedad
A/B	Se ha reducido el 50% del horizonte A, así como el 50% del B.	Presentan un leve azolvamiento.	Los lomeríos presentan: surcos y cárcavas.	Se reduce la cobertura entre un 15% y 30%	La actividad agrícola ha disminuido hasta en 25%, forestal 15% y la ganadería 30%, por lo tanto los ingresos económicos de la población son ligeramente afectados.
B	Se ha erosionado totalmente el horizonte A y el 50% del B, pérdida de nutrientes.	La remoción del material ha originado: azolvamiento, eutrofización y contaminación moderada en los sistemas acuáticos.	Las laderas de cerros y sierras presentan cárcavas y barrancos.	Alteración de la vegetación en cuanto a su cobertura hasta en un 75%, ya se observan cambios de bosque a pastizal.	Se ha reducido la actividad agrícola hasta en un 70%, afectación moderada a los ingresos de los habitantes y migración a áreas cercanas (Puebla).
B/C	Durante este proceso se ha perdido el 100% del horizonte A y B. Pérdida de nutrientes.	Se observa azolvamiento y contaminación notable en los sistemas acuáticos.	Los lomeríos, cerros, laderas de volcán presentan: barrancos, cárcavas, islotes y pináculos.	Se ha sustituido la vegetación de pino o encino por vegetación arbustiva.	Anteriormente se practicaba la agricultura o silvicultura, actualmente, la población migra hacia los estados cercanos (Hidalgo), disminución de los ingresos de los habitantes.
C	A consecuencia de este fenómeno prácticamente se removieron los horizontes A, B y C y parte de la roca. Pérdida de nutrientes.	Se presentan procesos de contaminación, eutrofización y azolve en forma severa.	Se presentan barrancos, cárcavas	Ha derivado la vegetación de bosque de pino o encino a matorral o pastizal.	No se lleva a cabo ninguna actividad productiva, se afecta severamente los ingresos de los habitantes, hay emigración hacia el estado de Puebla, Hidalgo y D. F., afectaciones ligeras a la salud.

Fuente: Elaboración propia a partir de trabajo de campo y gabinete.

Cuadro 4. Relación de las clases erosión, con los elementos ambientales.

Clases de velocidad de erosión	Valor de la erosión Ton/ha/año	Superficie (Km²)	Relieve forma y pendiente	Precipitación media anual(mm)	Textura del suelo	Vegetación o uso del suelo
Ligera	1-9	446.70 11%	Planicie 2%	500-700	arcilla	Pastizal agricultura de temporal o riego
Moderada	10-49	771.57 19%	Lomeríos 5-10%	500-900	Arena o franca	Agricultura de temporal
Alta	50-190	893.45 22%	Cerros 15-25%	600-800	Arena o franca	Pastizal o bosque abierto
Muy alta	200-650	1949.20 48%	Cerros y sierras 35-50%	900-100	arcilla	Agricultura de temporal
Superficie		4060.92 100%				

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo y gabinete.

edáfica, incremento en la variación de la temperatura, el azolvamiento, la eutrofización en los sistemas lóticos y lénticos, fragmentación de las áreas de bosques y la disminución en el rendimiento de las actividades de la agricultura y la ganadería. Las otras clases como son la B y B/C, también han originado efectos significativos en los medios natural y económico; respecto a las clases A y A/B los impactos en el ambiente son mínimos, por lo tanto en los sitios donde se presenta esta erosión el problema es menor.

5. Velocidad de la erosión hídrica

En el área de estudio se presentan las siguientes clases de erosión (cuadro 4) y (carta de erosión ver anexo).

a) Clase ligera. Se localiza en los municipios de Alzayanca, Calpulalpan, Huamantla y Chiautempan, Benito Juárez, Apizaco, Terrenate, Tequixquilita, Alzayanca, Tetla, Tlaxcala, Tepetitla y Zacatelco, esta clase es producto de un relieve plano, precipitación moderada, suelos arcillosos dedicados a la agricultura de riego y temporal.

b) Clase moderada. Ocupa el segundo lugar en superficie, y se ubica en los municipios de Benito Juárez, Hueyotlipan, Atlangatepec, Lázaro Cárdenas, Calpulalpan, Nanacamilpa, Tetla y Tequixquilita, en los lomeríos con pendiente moderada, precipitación moderada, suelos arenosos dedicados a la agricultura de temporal sin ninguna técnica de conservación han originado esta clase.

c) Clase alta. Se ubica en cerros con pendientes fuertes localizados en los municipios de Terrenate, Tequixquilita, Calpulalpan, Tepetitla, Atlangatepec, Tlaxco, Zitlaltepec y Tepeyanco, con vegetación de pastizal, suelos arenosos y precipitaciones altas.

d) Clase muy alta. Ocupa la mayor superficie del área de estudio, se ubica en los municipio de: Tepetitla, Hueyotlipan, Tlaxcala, Tlaxco, Atlangatepec, Alzayanca, Zitlaltepec, Nanacamilpa y Tenancingo, es producto de un relieve muy pronunciado, alta precipitación pluvial y suelos arcillosos que están dedicados a la agricultura de temporal con un manejo inadecuado (ver foto 2 del anexo). La práctica de la agricultura y ganadería de manera tradicional carente de toda técnica de conservación de suelos ha contribuido a que las clases altas y muy altas sean las que ocupen mayor cobertura.

Al ser comparada esta investigación con las realizadas por la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), el Colegio de Postgraduados (CP) y la Fundación Alemana, se observó que estas instituciones han abordado la problemática de la erosión de suelos de manera disciplinaria para determinar el tipo, las formas y la velocidad de la erosión actual, sin considerar la dinámica social, económica y la problemática ambiental.

La cuantificación de la pérdida de suelo permitió establecer intervalos de valores desde 1 ton/ha/año hasta valores altos de 471 ton/ha/año, que no difieren de los obtenidos por Zárate

(*op. cit.*). Los valores máximos para la época de sequía fue de 203.17 ton/ha/año y para la época húmeda se obtuvo un valor de 756 ton/ha/año, que en promedio es de 478.58 ton/ha/año.

En cuanto a los valores obtenidos al aplicar el Índice de Erosión de Suelos y Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (cuadro 5), resultó que éstos son muy semejantes y que en algunos sitios la diferencia es sólo del orden del 5%.

Cuadro 5. Velocidad de erosión calculada con el IES y EUPS.

Punto	Valor de la erosión en ton/ha/año		
	Índice de Erosión de Suelos (IES)	Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (EUPS)	Clases se erosión
1	64.72	61.63	Alta
2	10.13	11.19	Moderada
3	25.62	24.32	Moderada
4	9.17	10.12	Moderada
5	11.01	10.79	Moderada
6	7.32	8.30	Ligera
7	8.49	7.38	Ligera
8	9.19	11.04	Ligera
9	213.14	233.16	Muy alta
10	305.78	320.70	Muy alta
11	416.16	393.14	Muy alta
12	6.29	5.35	Ligera
13	119.39	114.11	Alta
14	9.53	10.34	Moderada
15	169.40	166.42	Alta
16	275.15	290.52	Muy alta
17	53.68	60.34	Alta
18	310.92	325.29	Muy alta
19	169.70	161.20	Alta
20	478.58	501.14	Muy alta
21	245.12	238.17	Muy alta
22	471.28	592.16	Muy alta
23	203.17	220.03	Muy alta
24	13.19	12.13	Moderada
25	37.41	31.12	Moderada
26	109.13	114.92	Alta
27	42.50	49.36	Moderada
28	37.39	31.62	Moderada
29	56.19	52.30	Alta
30	25.34	28.36	Moderada
31	31.06	34.39	Moderada
32	35.75	30.16	Moderada
33	185.25	200.17	Alta
34	24.34	27.97	Moderada
35	210.49	200.16	Muy alta
36	40.29	45.65	Moderada
37	9.23	10.69	Moderada
38	6.41	7.34	ligera
39	61.19	59.14	Ligera
40	92.41	103.71	Alta
41	43.75	41.32	Moderada
42	31.33	29.63	Moderada
43	416.11	456.13	Muy alta
44	50.47	43.85	Moderada
45	47.74	59.39	Alta
46	48.22	51.43	Alta
47	42.16	47.23	Moderada
48	53.65	62.98	Alta
49	29.42	26.36	Moderada
50	23.43	21.03	Moderada

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo y gabinete.

La intensidad de la agricultura, ganadería extensiva, tala inmoderada, así como el crecimiento urbano en el pasado han contribuido a la degradación ambiental del suelo en el estado de Tlaxcala, manifestándose principalmente en el proceso de erosión del suelo. En la época más reciente (inicio de la década de los años setenta, siglo XX) se han presentado diversos factores que han repercutido sobre esta problemática, entre ellos persisten los efectos de la deforestación, la incidencia de una buena proporción de la ganadería extensiva del ganado caprino que está comprobado que reduce la cobertura vegetal tanto de pastizales como de matorrales, favoreciendo de esta manera que las lluvias puedan acelerar la pérdida de suelos y laderas.

Conclusiones y recomendaciones

Como se puede apreciar, la situación actual de la erosión hídrica del estado de Tlaxcala es severa, entidad donde se han presentado distintos eventos en el medio natural, social y económico, que han contribuido en la generación de una erosión fuerte a lo largo de varios siglos. En este estudio se consideró además del inventario de tipos, formas y grados de erosión, el análisis de sus causas, así como la determinación de sus efectos de una manera interdisciplinaria y ambiental.

Del análisis se concluye que en el área de estudio existen condiciones que aceleran el proceso de erosión, como son: precipitación pluvial entre 700 y 1 000 mm, suelos arcillosos ubicados en pendientes mayores del 40%, sin cobertura

vegetal y dedicados a la agricultura de temporal, estos eventos repercuten sobre la pérdida de la capa fértil donde se desarrolla la agricultura, además esto da lugar a que el transporte de sedimentos se acelere y deposite en los principales sistemas acuáticos en el estado de Tlaxcala, originando el azolvamiento de la Presa Atlangatepec y Teometitla, así como en los ríos Zahuapan y Atoyac.

Para disminuir y controlar la erosión de suelos en el ámbito estatal y/o municipal, será necesario implementar distintas acciones para la conservación de suelos, a fin de darles un buen uso, lo que requerirá optimizar la crianza de la ganadería caprina y controlar la tala inmoderada de los bosques. Finalmente para el control y restauración de la erosión del suelo es necesario aplicar la normatividad sobre los usos del suelo y desarrollar actividades productivas, lo cual puede ser instrumentado mediante un ordenamiento ecológico-territorial de la entidad.

De manera paralela es necesario elaborar e implantar una serie de programas de orientación y capacitación para los distintos grupos implicados en los sistemas económicos: campesinos, agricultores y ganaderos, sobre el manejo y uso potencial del suelo, respaldados con datos técnicos de las características físicas, químicas y de productividad. Es recomendable establecer áreas donde se puedan aplicar programas de conservación de suelos en beneficio de la vida silvestre y recreativa para los pobladores, a través de parques ecológicos o áreas naturales protegidas, para lo cual es imprescindible la participación de los distintos niveles de gobierno, así como de la sociedad en general.

OBJE

Bibliografía

- Alvarado, C. M. (1996). *Causas, origen, diagnóstico de la erosión del suelo en el estado de Tlaxcala, México*. Proyecto CGPI, IPN. México.
- _____ (2000). *Diagnóstico de la erosión hídrica en el estado de Tlaxcala*. XIII Congreso Nacional 2000. FEMISCA, Morelia, Michoacán, México.
- Apostel, L., G. Berger, A. Briggs y G. Michaud. (1975). *Interdisciplinariedad: problemas de la enseñanza de la investigación en las universidades*. Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES), México.
- CCE (2002). *The North American Mosaic: a state of the environmental report*. Commission for Environmental Co-operation.
- Crosson, P. (2003). "The economic of soil erosion and maintaining soil biodiversity" in Proceedings of OECD expert meeting on soil erosion and soil biodiversity indicators. Rome, March.
- Chmelová, R., y B. Sarapatka (2002). "Soil Erosion by Water: Contemporary Research Methods and their Use", *Geographica* 37.
- Eaton, D. (1996). "The economic of soil erosion: a model of farming decision-making", *Environmental Economics Programme*. Discussion Paper. The Netherlands.
- Espejel, R. A. y G. Carrasco R. (1999). "Deterioro ambiental en Tlaxcala y las políticas de desarrollo estatal 1988-1999", *Gaceta ecológica*, INE-SEMARNAP, 52.
- Espinoza, E. H. (1992). *Dinámica de la erosión hídrica eólica en el estado de Tlaxcala*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Edo. de México. México.

- FAO (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. FAO. Roma. Italia.
- García, C. A. (1997). "Control de la erosión en Tlaxcala: época prehispánica", en Cook A. G. L. Merino -Carrión (compiladores). *Antología de Tlaxcala*. Antologías. Serie Arqueológica. Instituto de Antropología e Historia. Gobierno del Estado de Tlaxcala, México.
- Heine, K. (2003). "Paleopedological Evidence of Human-Induced Environmental Change in the Puebla-Tlaxcala area (Mexico) During the last 3 500 Years", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 20(3).
- INEGI, (1999). *Estadísticas del medio ambiente*. Tomo II, Aguascalientes, México.
- Kirkby, M. J. (1984). *Erosión de suelos*. Limusa, México.
- Luna, C. M. (1997). "Algunas causas históricas de la erosión en Tlaxcala". *Terra* 15(2).
- Maass, M. M. (1998). "Erosión de suelos en México: una consecuencia de la transformación del hábitat y uno de los problemas más serios de degradación ambiental", en Toledo G. y M. Leal-Pérez (edit.). *Dstrucción del hábitat*. Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA), UNAM.
- Nieves, J., L. García y R. Cardoza (2001). "La degradación de suelos en México", en Palacio-Prieto J. L.; L. L. González; L. Vázquez-Selem; G. Bocco, E. McClung; I. Alcántara, M. Inbar y M. Sala (Organizing Committe) *Proceedings of the International Symposium on Land Degradation and Desertification*. May 7-14. IGV. Commission on Land Degradation and Desert of Geography (COMLAND), Institute of Geography, Institute of Ecology, Institute of Anthropology, and National Autonomous University of Mexico (UNAM), México.
- Rey, C. J. (1986). *Índices de erosividad*. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México.
- SAG (1968). *Conservación del suelo y agua en la Montaña de la Malinche (Tlaxcala)*. México.
- SEDUE (1988). *Manual de ordenamiento ecológico*. México.
- Veihe, A. J; Rey; J. N. Quinton; P. Strauss, F. M. Sancho y Somarriba (2001). *Modelling of Event-Based Soil Erosion in Costa Rica, Nicaragua and Mexico: Evaluation of the EUROSEM Model*. Catena 44.
- Werner, G. (1988). *Los suelos en el estado de Tlaxcala. Altiplano Central Mexicano*. Gobierno del Estado de Tlaxcala, Universidad Autónoma de Tlaxcala Fundación Alemana. Tlaxcala, México.
- Zárate, Z. R. (1991). *Diagnóstico y control de la degradación de la tierra en el estado de Tlaxcala*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Estado de México. México.
- BARPO (2001). *Enciclopedia de México Siglo XXI*, España,

Anexo

Foto 1. Erosión en forma de islotes.



Foto 2. Erosión hídrica muy alta.



Foto 3. Mapa de erosión del estado de Tlaxcala.

