

CAMBIOS EN EL PROCESO DE EROSIÓN. EL PARQUE OTOMÍ –MEXICA, ESTADO DE MÉXICO (2014 Y 2018)

Brenda Yazmin Reza Curiel¹, Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo¹, Luis Miguel Espinosa Rodríguez¹, José Isabel Juan Pérez²

Universidad Autónoma del Estado de México

RESUMEN

El Parque Otomí – Mexica es un área natural protegida con importantes impactos sobre la cobertura vegetal, que causan erosión del suelo. Este estudio analiza la retención del suelo por medio de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (RUSLE). La metodología consta de la cuantificación y localización de los siguientes procesos: 1) Erosividad de la lluvia (Factor R), los datos se obtuvieron de ocho estaciones meteorológicas ubicadas dentro del área de estudio; 2) Erosionabilidad del suelo (Factor K), se obtuvo la información de cartas edafológicas del INEGI 2014 – 2018; 3) Longitud y pendiente del terreno (Factor LS), se representaron las curvas de nivel a partir de la carta topográfica E14A-48 del INEGI; 4) Cobertura vegetal (Factor C) se realizó clasificación, cuantificación y representación cartográfica de las coberturas vegetales para los años 2014 y 2018 a partir de la carta de uso del suelo del INEGI. Los resultados muestran que, en las áreas con menor longitud de pendiente, menor precipitación, tipo de suelo menos erosionable y mayor cobertura vegetal, la erosión es menor; por el contrario, en las zonas con mayor longitud de pendiente, mayor precipitación, tipo de suelo más erosionable y menor cobertura vegetal, se presenta mayor nivel de erosión.

Palabras clave: Ecuación Universal de Pérdida de Suelo; erosión ambiental; retención del suelo; área natural protegida; cobertura vegetal.

CHANGES IN EROSION PROCESS. THE OTOMÍ – MEXICA PARK, STATE OF MEXICO (2014 AND 2018)

ABSTRACT

The Otomí - Mexica Park is a protected natural area with significant impacts over the vegetation cover, causing soil erosion. This study analyzes soil retention through the Universal Soil Loss Equation (RUSLE). The methodology consists of the quantification and location of the following processes: 1) Erosivity of the rain (Factor R), the data were obtained from eight meteorological stations located within the study area; 2) Erosionability of the soil (K Factor), the information was obtained from edaphological charts of the INEGI 2014 - 2018; 3) Length and slope of the terrain (Factor LS), the contour lines were represented from the topographic chart E14A-48 of the INEGI; 4) Vegetation cover (Factor C), classification, quantification and cartographic representation of the vegetal cover was carried out for the years 2014 and 2018 based on the INEGI land use charter. The results show that, in the areas with less slope length, less precipitation, less erodible soil type and greater vegetal cover, erosion is lower; on the contrary, in the areas with a greater length of slope, greater precipitation, more erodible soil type and less vegetal cover, there is a higher level of erosion.

Keywords: Universal Soil Loss Equation RUSLE; environmental erosion; soil retention; Protected Natural Area; plant cover.

¹Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México. Cerro de Coatepec s/n, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México C.P. 50100. E-mail. brenda_reza@hotmail.com

² Centro de Investigación Multidisciplinaria en Educación, Universidad Autónoma del Estado de México. Corregidor Gutiérrez 209, Barrio de la Merced C.P. 50080. E-mail. jupi582602@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Los requerimientos actuales de planes de manejo y la necesidad de cumplimiento de diversas normativas internacionales, demandan a los profesionales ambientales conocer y manejar diversas técnicas y alternativas de acción que tiendan a la minimización de los impactos nocivos sobre los componentes de los ecosistemas.

La importancia del parque Otomí Mexica radica en su gran extensión con 105,875 hectáreas. Decreto publicado el 08 de enero de 1980 en la Gaceta de Gobierno del Estado de México. El primer plan de manejo y conservación se realizó en 2007, en el que se destacaron cuatro políticas de manejo ambiental (aprovechamiento, conservación, restauración y protección).

Los ecosistemas cobraron importancia a partir de la toma de decisiones basada en opciones informadas y críticas dirigidas a frenar el impacto ambiental y hacer conciencia en la conservación de los ecosistemas.

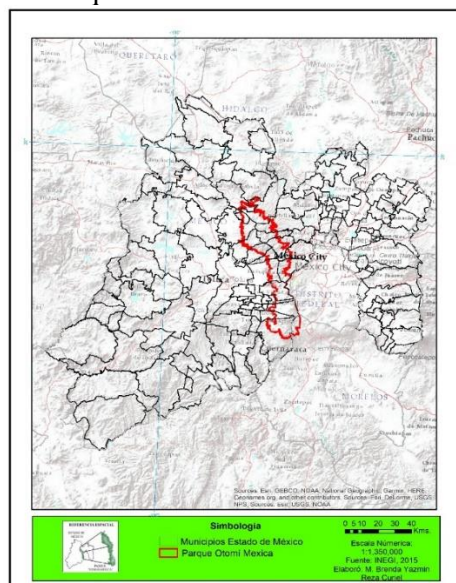
El estudio se realizó con base en la ecuación Universal de Pérdida de Suelo, RUSLE, publicada por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (WISCHMEIER WALTER & SMITH DWIGHT, 1978); con el apoyo tecnológico de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permiten el manejo de gran cantidad de información sujeta a variabilidad espacial. El manejo de esta gran cantidad de datos con metodologías convencionales, es un proceso laborioso, repetitivo y costoso. Los SIG son sistemas de gestión de base de datos para la captura, almacenamiento, manipulación, análisis y salida de datos georreferenciados” (HUXHOLD, 1991 en LAURA RAMÍREZ, 2010). En este caso los SIG permitieron modelar el comportamiento de la predicción del RUSLE como fundamento para la toma de decisiones ambientales.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El Parque Otomí – Mexica Estado de México, está ubicado en el contexto geográfico del centro de México, donde convergen, la Zona Metropolitana del Valle de México, la Zona Metropolitana del Valle de Toluca y la Zona Metropolitana de Cuernavaca. Sus coordenadas geográficas extremas son: 18° 59' 59.57" - 19° 45' 19.34" de latitud norte y 99° 20' 21.75" - 99° 32' 01.41" de longitud oeste. Tiene una superficie aproximada de 105, 875 hectáreas, que se encuentran distribuidas espacialmente en 17 municipios del Estado de México: Chapa de Mota, Huixquilucan, Isidro Fabela, Jilotzingo, Jiquipilco, Lerma, Naucalpan, Nicolás Romero, Ocoyoacac, Ocuilán, Otzolotepec, Morelos, Temoaya, Tianguistenco, Villa del Carbón, Xalatlaco y Xonacatlán, (Figura, 1). Este Parque comprende una superficie de 105, 875 hectáreas arriba de la cota 2800 metros sobre el nivel del mar, (GEM, 1980)

FIGURA 1

Ubicación Geográfica del Parque Otomí – Mexica en el contexto del Estado de México.



Fuente: Elaboración propia con base en (INEGI, 2015)

Las altitudes aproximadas del territorio oscilan entre 2,800 y 3,870 msnm. El pico más alto, es el Cerro de la Catedral ubicado en el municipio de Temoaya, las pendientes que conforman el territorio fluctúan entre 0 y 48°, siendo este uno de los elementos fisiográficos más representativos del parque.

La precipitación total anual del área de estudio oscila entre 800 y 1,250 mm. El promedio anual corresponde a 1,100 mm. de los cuales 884.64 mm (76%) se evaporan, 221.16 mm (19%) escurren y forman las corrientes superficiales perennes e intermitentes, y solo el 58.2 mm (5%) se infiltran y contribuyen a la recarga de mantos acuíferos de los Valles de Toluca y México (CONAGUA, 2002 Y JUAN PÉREZ et al., 2017).

Los suelos de tipo andosol son predominantes en el parque, están constituidos principalmente por cenizas, vidrios volcánicos y materiales piroclásticos, además son característicos de relieves montañosos. en el parque, las subunidades edáficas de los suelos andosol son: andosol húmico, andosol mólico y andosol órico (INEGI, 2001 Y ECOCIENCIA, 2009).

Los suelos de tipo cambisol está ubicados en pequeñas porciones en las zonas centrales del parque, son considerados suelos jóvenes y poco desarrollados, esto como consecuencia de las condiciones climáticas, se distinguen por su alto contenido de nutrientes, sus rendimientos agrícolas varían de moderado a alto, dependiendo de la zona climática donde se desarrollen, se pueden encontrar en cualquier tipo de vegetación y clima excepto en zonas áridas. Las subunidades presentes dentro del territorio del parque están integradas en dos: cambisol éutrico y cambisol crómico.

Respecto a los suelos de tipo luvisol, éstos se forman debido a las altas condiciones de humedad existentes en los ambientes del parque, así como por el material parental por lo que su origen está vinculado con procesos residuales. Estos suelos presentan una textura media, por lo que, sus condiciones de drenaje interno se ubican en un rango entre drenado a escasamente drenado. En el parque la subunidad edáfica de los luvisoles más representativa es luvisol crómico (INEGI, 2001).

Los suelos de tipo feozem, se caracterizan por presentar una capa superficial de color oscuro, rica en materia orgánica y en nutrientes, además, están conformados principalmente por materiales no consolidados. La formación de estos suelos está asociada con los procesos de intemperismo de las rocas de origen ígneo extrusivo las cuales son frecuentes en el territorio. La subunidad edáfica más representativa de los suelos feozem dentro de los límites del parque es feozem lúvico.

En lo que respecta a los suelos de tipo litosol, éstos se caracterizan por encontrarse a una profundidad menor a diez centímetros y su textura es variable. En estos suelos crecen pastizales, matorrales y ocasionalmente asociaciones de bosque. Su grado de erosión y los procesos erosivos están vinculados con las condiciones topográficas, la pendiente y sus características de origen. Su rendimiento agrícola es variable, pues está condicionado por la abundancia de agua y su vulnerabilidad a los procesos erosivos (INEGI, 2001).

Dentro de los ecosistemas naturales que conforman el parque, se encuentra el bosque de oyamel (*Abies religiosa*) cuya extensión territorial es de unas 30,961 has, este tipo de ecosistemas en México se desarrolla en altitudes que van de los 2,400 hasta los 3,200 msnm. Los ecosistemas de pino (*Pinus sp.*) comienzan a predominar, ocupando aproximadamente unas 20,806 has del parque. Los ambientes de pino en México suelen desarrollarse entre los 2,400 y 3,800 msnm, donde las condiciones climáticas presentan temperaturas entre 5 °C y 12 °C y los niveles de precipitación fluctúan de 1,000 a 1,200 mm (media anual).

Los ecosistemas de bosques mixtos, compuestos por encino-pino y pino encino, ocupan el tercer lugar en cuanto a superficie terrestre, ya que, abarcan unas 9,192 hectáreas y se ubican principalmente en la zona norte del ANP, en los territorios que ocupan actualmente los municipios de Nicolás Romero y Villa del Carbón. Estos ecosistemas se caracterizan por tener comunidades arbóreas de gran altura acompañados por otras especies entre las que destacan el madroño, aile y trompillo, especies latifoliadas y consideradas poco representativas en cuanto a abundancia y distribución. Los ecosistemas de encino (*Quercus sp.*) compuestos principalmente por las especies encino de hoja ancha (*Quercus rugosa*), encino prieto (*Quercus laeta*) y escobillo (*Quercus mexicana*) (CONABIO, 2020). La asociación de estos ecosistemas está constituida por

formaciones densas o al menos cerradas, sin embargo, en algunas zonas del parque estas especies crecen separadas con amplios espacios cubiertos por arbustos y herbáceas. La altura promedio de los encinos puede variar entre 2 y 30 metros.

Los ecosistemas de bosques mesófilos de montaña que se desarrollan actualmente en el parque, se ubican en el territorio administrativo del municipio de Ocuilán, se caracterizan por tener árboles en varios estratos, algunas especies arbóreas identificadas durante los recorridos de campo por estos ambientes son: pinos (*Pinus spp.*), encinos (*Quercus spp.*), liquidámbar (*Liquidambar spp.*) y árbol de las manitas (*Chirantodendron pentadactylon*) entre otros.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La denominada “Ecuación Universal de Pérdida de Suelo” RUSLE, fue diseñada para la predicción de la erosión en suelos preferentemente agrícolas y con base anual. No obstante, contiene algunos índices y factores que, con la debida adaptación, hacen que la ecuación pueda también utilizarse en algunas situaciones de manejo forestal. (MANCILLA ESCOBAR, 2008).

La ecuación Universal de Pérdida de Suelo, RUSLE, formulada inicialmente por Wischmeier Walter & Smith Dwight en 1962 y publicada posteriormente en su forma definitiva en el manual 534 del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (WISCHMEIER WALTER & SMITH DWIGHT, 1978), la que ha tenido mayor aceptación y difusión, no sólo en el continente americano sino en los demás países con problemas de erosión, (GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, 1991). Los factores que considera la ecuación RUSLE son los siguientes:

3.1 FACTOR R. EROSIDIDAD DE LA LLUVIA

Corresponde a la erosividad generada por la precipitación media anual para dos años de estudio retomados de la página del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), para lo cual se procedió a obtener datos de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio, número de clave y municipio.

Uno de los índices, que ha mostrado ser eficiente, para la estimación de pérdidas de suelo en diversas partes del mundo es propuesto por Wischmeier y Smith, 1978, se define como el producto de dos características de la lluvia.

1. La energía cinética total de la lluvia (E_c)
2. La intensidad máxima en treinta minutos (I_{30})

donde:

EI_{30} : índice de erosividad para un evento, en $MJ\ mm\ ha^{-1}h^{-1}$

E_c : energía cinética total de la lluvia en MJ/ha

I_{30} : intensidad máxima de la lluvia en 30 min en mm/h

La suma de los EI_{30} durante un año forma el factor de erosividad anual de la lluvia R de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos.

$$R = \sum EI_{30}$$

3.2 FACTOR K. EROSIONABILIDAD DEL SUELO

Para calcular la erosionabilidad del suelo, la obtención de datos edafológicos se retomó la información de la caracterización, que previamente se consultó en INEGI a partir de la información cartográfica recopilada con escala 1:50,000 se identificaron nueve tipos de suelo los cuales son: Andosol (Ótrico), Andosol (Húmico), Andosol (Mólico), Leptosol, Cambisol (Crómico), Cambisol (Étrico), Feozem (Lúvico), Luvisol (Crómico) y Vertisol, se retoman los valores del factor K de la tabla 1.

TABLA 1
Valores de erosionabilidad (Factor K) para diversas unidades de suelo de acuerdo con la FAO (1980)

Textura				Textura			
Unidad	Gruesa	Media	Fina	Unidad	Gruesa	Media	Fina
Acrisoles A	0.026	0.040	0.013	Luvisol Órtico Lo	0.026	0.040	0.013
Acrisol Férrico Af	0.013	0.020	0.007	Luvisol Plíntico Lp	0.053	0.079	0.026
Acrisol Gleico Ag	0.026	0.040	0.013	Luvisol Vértico Lv	0.053	0.079	0.026
Acrisol Húmico Ah	0.013	0.020	0.007	Greyzems M	0.026	0.040	0.013
Acrisol Órtico Ao	0.026	0.040	0.013	Nitosol N	0.013	0.020	0.007
Acrisol Plíntico Ap	0.053	0.079	0.026	Histosol O	0.013	0.020	0.007
Cambisol B	0.026	0.040	0.013	Histosol Éútrico Oe	0.013	0.020	0.007
Cambisol Crómico Bc	0.026	0.040	0.013	Podzol P	0.053	0.079	0.026
Cambisol Distritico Bd	0.026	0.040	0.013	Podzol Férrico Pf	0.053	0.079	0.026
Cambisol Éútrico Be	0.026	0.040	0.013	Podzol Gleico Pg	0.053	0.079	0.026
Cambisol Ferrálico Bf	0.013	0.020	0.007	Podzol Húmico Ph	0.026	0.040	0.013
Cambisol Gleico Bg	0.026	0.040	0.013	Podzol Órtico Po	0.053	0.079	0.026

Fuente: (FAO, 1980).

Fórmula para calcular el factor k

$$100 K = 2.1 * (M1.14 / 10,000) * [(12-a) + 3.25(b-2) + 2.5(c-3)]$$

3.3 FACTOR LS. LONGITUD DE LA PENDIENTE Y PENDIENTE MEDIA DEL TERRENO

Los datos de longitud de la pendiente y pendiente media del terreno se obtuvieron a partir de las curvas de nivel de las cartas topográficas con claves E14A-48 de INEGI para generar el mapa de pendiente.

Calculo del factor L longitud de la pendiente

El procedimiento para obtener el factor L, se aplicó la siguiente fórmula:

$$L = (\lambda / 22.13)^m$$

Donde:

L= Longitud de la pendiente

λ = Longitud de la pendiente en metros

El exponente m se calcula como:

$$m = \beta / \beta + 1$$

El valor de β se calcula como:

$$\beta = \sin \Theta / 0.0896 / 3 \sin \Theta 0.8 + 0.56$$

La longitud de la pendiente se calcula como:

$$\lambda = DX / \cos \Theta$$

Donde:

DX= distancia entre píxeles

El proceso se realizó a partir del DEM con una distancia entre píxeles de 15 m (DX) generado previamente en la cartografía de la caracterización, por otra parte, el ángulo se obtuvo con la herramienta slope, posteriormente mediante la herramienta Map Algebra se aplicaron las operaciones correspondientes para obtener el factor L.

Calculo del factor S pendiente media del terreno

El factor S se calculó con la siguiente fórmula

$$S = (H_a - H_b) / L$$

En donde:

S = Pendiente media del terreno;

H_a= Altura de la Parte Alta;

H_b= Altura de la Parte Baja del terreno;

L = Longitud del terreno

3.4 FACTOR C. COBERTURA VEGETAL

Se retomaron datos de la cobertura vegetal, los cuales están basados en la carta de uso del suelo del INEGI, la serie V, para 2014, serie VI para el 2018. Los ecosistemas son los siguientes: Agricultura de riego, Agricultura de temporal, Bosque de Pino, Bosque de Encino, Bosque de Oyamel, Bosque pino-encino, Bosque mesófilo de montaña, Pastizal inducido, Agricultura de riego y Asentamiento Humano. Se retoman los valores de factor C de (WISCHMEIER WALTER & SMITH DWIGHT, 1978), ver tabla 2.

TABLA 2

Valores de la cobertura vegetal (Factor C) para los diversos tipos de vegetación de acuerdo con el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (1978)

Tipos de vegetación	Factor C
Bosque de pino - encino	0.0200
Pastizal inducido	0.0270
Bosque de pino	0.0400
Selva baja espinosa subperenifolia	0.04370
Selva Subcaducifolia	0.0800
Palmar natural	0.1000
Bosque de mezquite	0.1800
Bosque de encino	0.1880
Selva perennifolia	0.1930
Bosque de conífera	0.2000
Agricultura de temporal	0.2500
Selva subcaducifolia	0.2700
Pastizal natural	0.2725
Suelo desprotegido	1.0000

Cuerpo de agua	0.0010
Vegetación inducida	0.0020
Agricultura de riego	0.0040
Selva caducifolia	0.0100
Matorral xerófilo	0.0120

Fuente: (WISCHMEIER WALTER & SMITH DWIGHT, 1978).

Una vez obtenidos los diferentes factores R erosividad de lluvia, K erosionabilidad del suelo, LS longitud de la pendiente y pendiente media del terreno; y C cobertura vegetal, correspondientes a la Ecuación RUSLE en formato raster para cada factor se multiplicaron los valores mediante la herramienta Map Algebra en Arcgis. Posteriormente se clasificaron 5 rangos diferentes de acuerdo a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2001).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la retención de suelo se realizó en función de los resultados obtenidos en la aplicación de la fórmula Ecuación Universal de la Pérdida del Suelo (RUSLE), a continuación se presentan los resultados obtenidos de los diferentes factores de la RUSLE, para determinar la localización espacial de las zonas donde existen mayores rangos de pérdida de suelo, posteriormente revisar cuál de los factores tiende a tener mayor influencia en la erosión para identificar las zonas de menor retención del suelo.

De acuerdo con (VARGAS LOMELIN, 2015) el modelo RUSLE se representa con letras mayúsculas los factores que intervienen en el proceso de la erosión del suelo de la siguiente manera: $A = R * K * LS * C$

Donde:

A, es la pérdida de suelo en t/ha.año.

R, es el factor erosividad de la lluvia en Mjmm/ha.año.

K, es el factor erosionabilidad del suelo en (t/ha)/(Mj.mm/ha.h)

L, es el factor longitud de la pendiente

S, es el factor pendiente media del terreno

C, es el factor cobertura vegetal

4.1 FACTOR R. EROSIVIDAD DE LA LLUVIA

Se procedió a obtener datos de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio, para ello se descargaron los datos de precipitación media anual correspondientes a dos años de estudio de la página del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), las cuales se observan en la tabla 3.

Precipitación media anual (PMA) en el Parque Otomí – Mexica, Estado de México 2014 – 2018.

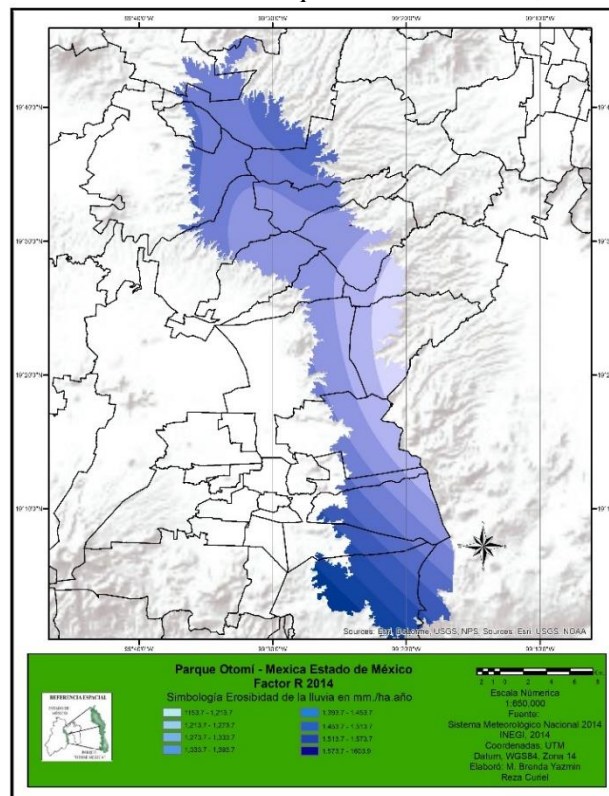
Estaciones Meteorológicas No. clave	Estaciones Meteorológicas Nombre	Municipio	PMA 2014 (mm)	PMA 2018 (mm)
15037	Jiquipilco	Jiquipilco	1,423.4	1,045.9
15045	La Marquesa	Ocoyoacac	1,447.8	1,932.0
15057	Mimiapan	Xonacatlan	1,461.8	1,068.8
15095	San Luis Ayucan	Jilotzingo	1,583.3	1,390.0
15114	Santiago Tlazala	Isidro Fabela	1,153.7	1,315.9
15231	Presa Iturbide	Isidro Fabela	1,438.6	1,728.0
15298	Santa Cruz Tezontepec E-21	Ocuilan	1,175.3	1,020.7
15394	Monte de Peña	Villa del Carbón	1,603.9	1,297.5

Fuente: elaboración propia con información del (SMN, 2019).

En la figura 2 se observa que en el año 2014 la mayor erosividad (mm/ha.año) se presenta en las zonas noreste, noroeste y suroeste, donde el efecto de la precipitación pluvial resultó más erosivo. Las zonas con mayor erosividad corresponden a las áreas de menor altitud y menores pendientes del Parque Otomí Mexica; en estas zonas se puede apreciar poca cobertura forestal. Sin embargo, la parte central del Parque es la zona donde la precipitación pluvial resultó ser menos erosivo, en esta zona se ubican las pendientes pronunciadas.

FIGURA 2

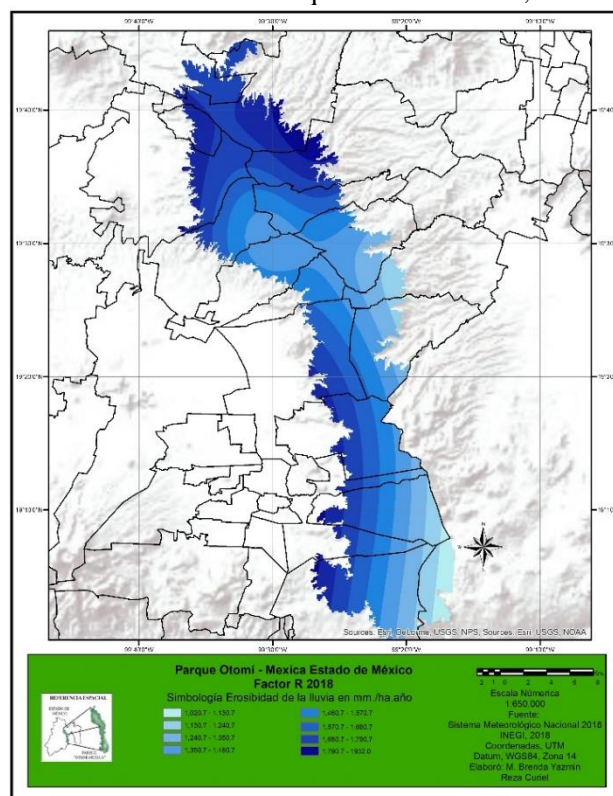
Factor R. Erosividad de la lluvia en el Parque Otomí – Mexica, Estado de México 2014.



Fuente: elaboración propia con base en Sistema Meteorológico Nacional e Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2014.

En la figura 3 se observa que para el año 2018 las zonas noreste y noroeste muestran al igual que en 2014 la mayor erosividad; en la zona suroeste aumentó la erosividad. El efecto de la precipitación pluvial resultó más erosivo, después de cuatro años abarcando más área, en esta zona con las menores altitudes y las pendientes más bajas del Parque Otomí Mexica, en estas zonas se puede apreciar poca cobertura forestal. En la parte central del Parque se aprecian zonas donde la precipitación pluvial resultó ser más erosivo para este año.

FIGURA 3
Factor R. Erosividad de la lluvia en el Parque Otomí Mexica, Estado de México 2018



Fuente: elaboración propia con base en Sistema Meteorológico Nacional e Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2018.

4.2 FACTOR K. EROSIONABILIDAD DEL SUELO

Para la obtención de los datos sobre las características de los diferentes tipos de suelos se retomó la información consultada del INEGI. A partir de la información cartográfica recopilada con escala 1: 50,000 se identificaron nueve tipos de suelo, en la tabla 4 se muestran sus principales características.

TABLA 4
Superficies, características de los suelos y Factor K en el Parque Otomí – Mexica Estado de México

Tipo de Suelo	Superficie (has)	Características				Factor k
		Textura	Materia Orgánica	Permeabilidad	Estructura	
Andosol (Ócrico)	36,780	Media (0.040)	Alta (3)	Alta (3)	Alta (3)	0.051
Andosol (Húmico)	32,446	Media (0.020)	Baja (1)	Baja (1)	Baja (1)	0.061
Andosol (Mólico)	28,112	Media (0.020)	Baja (1)	Baja (1)	Baja (1)	0.061
Leptosol	522	Media (0.079)	Alta (3)	Alta (3)	Alta (3)	0.012
Cambisol (Crómico)	2,500	Media (0.040)	Alta (3)	Alta (3)	Alta (3)	0.051
Cambisol (Éutrico)	1,450	Media (0.040)	Alta (3)	Alta (3)	Alta (3)	0.051
Feozem (Lúvico)	104	Media (0.020)	Baja (1)	Baja (1)	Baja (1)	0.061
Luvisol (Crómico)	3,744	Media (0.040)	Alta (3)	Alta (3)	Alta (3)	0.051
Vertisol	217	Media (0.040)	Alta (3)	Alta (3)	Alta (3)	0.051

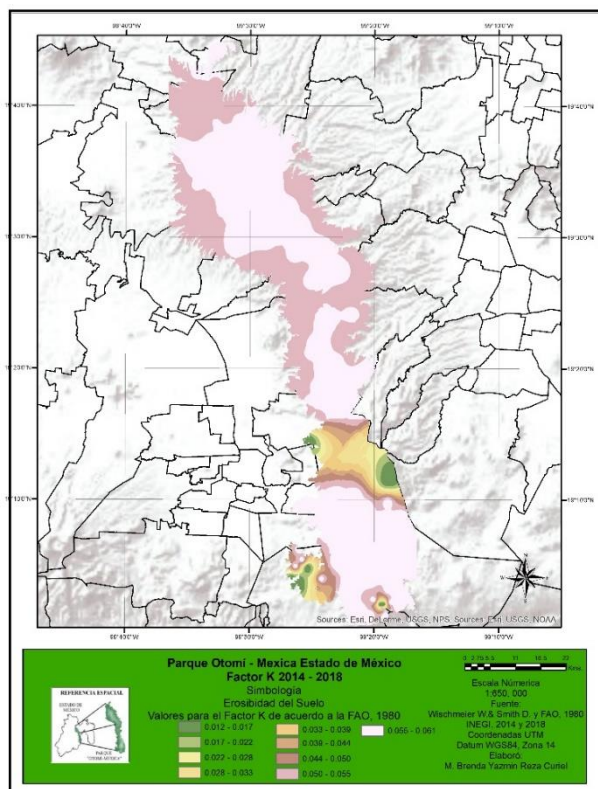
Fuente: Elaboración propia con base en (INEGI, 2015).

Posteriormente para la estimación del factor K, se retomó el método de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1980). Utiliza una metodología de cálculo a partir de la textura superficial (fina, media y gruesa) y la unidad de suelo a que pertenece según la FAO/UNESCO.

Una vez asignados los valores correspondientes se aplicó la herramienta poligon to raster de Arcgis con los valores correspondientes al factor K, el resultado fue una imagen raster. Esta imagen se empleó para los dos años 2014 y 2018.

En la figura 4 se observa la erosionabilidad del suelo (Factor K) del área de estudio, los valores calculados son los siguientes: andosol Ocrico (0.051), andosol húmico (0.061), andosol mólico (0.061), feozem Lúvico (0.061), luvisol Crómico (0.051), leptosol (0.012), vertisol (0.051). En general son suelos con una gran cantidad de materia orgánica protegida por cubierta vegetal; otra de sus características es que pueden contener gran cantidad de agua por estar constituidos de un alto porcentaje de arcillas, y por lo tanto son suelos fácilmente erosionables. Los valores más altos de erosionabilidad del suelo corresponden al tipo de suelo andosol húmico, andosol mólico y feozem lúvico, que presentan mayor susceptibilidad a sufrir erosión; estos tipos de suelo se localizan en la mayor parte del área de estudio; y no se observaron diferencias entre los dos años estudiados (2014 y 2018).

FIGURA 4
Factor K. Erosionabilidad del suelo en el Parque Otomí- Mexica Estado de México 2014 y 2018



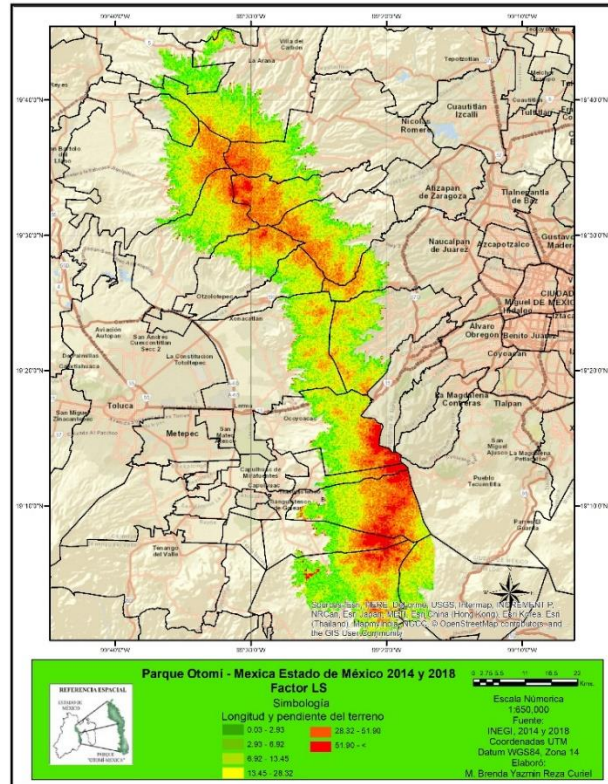
Fuente: Elaboración propia con base en (WISCHMEIER WALTER & SMITH DWIGHT, 1978; FAO,1980 e INEGI, 2014 y 2018)

4.3 FACTOR LS. LONGITUD DE LA PENDIENTE Y PENDIENTE MEDIA DEL TERRENO

Los datos de longitud de la pendiente y pendiente media del terreno se obtuvieron a partir de las curvas de nivel de la carta topográfica con clave E14A-48 del geo portal de INEGI. En la figura 5 se observa que no se presentaron cambios entre los años 2014 y 2018. En la zona norte y sur se encuentran las pendientes más pronunciadas del Parque Otomí Mexica, la longitud de la pendiente y pendiente media del terreno, dependen de las formas del relieve del Parque. Se observa que en las zonas donde la longitud de la pendiente y pendiente media del terreno tienen los valores altos, los accidentes topográficos los hacen más susceptibles al proceso erosivo.

FIGURA 5

Factor LS Longitud de la pendiente y pendiente media del terreno en el Parque Otomí – Mexica, Estado de México 2014 y 2018



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. (2014 y 2018)

4.4 FACTOR C. COBERTURA VEGETAL

Para la obtención de datos de la cobertura vegetal se retomó la carta de uso del suelo del INEGI para los años 2014 y 2018. Por medio de la clasificación, cuantificación y representación cartográfica, se identificaron diez distintos tipos de usos de suelo y vegetación que se muestran en la tabla 5.

TABLA 5

Cobertura vegetal presente en el Parque Otomí – Mexica, Estado de México

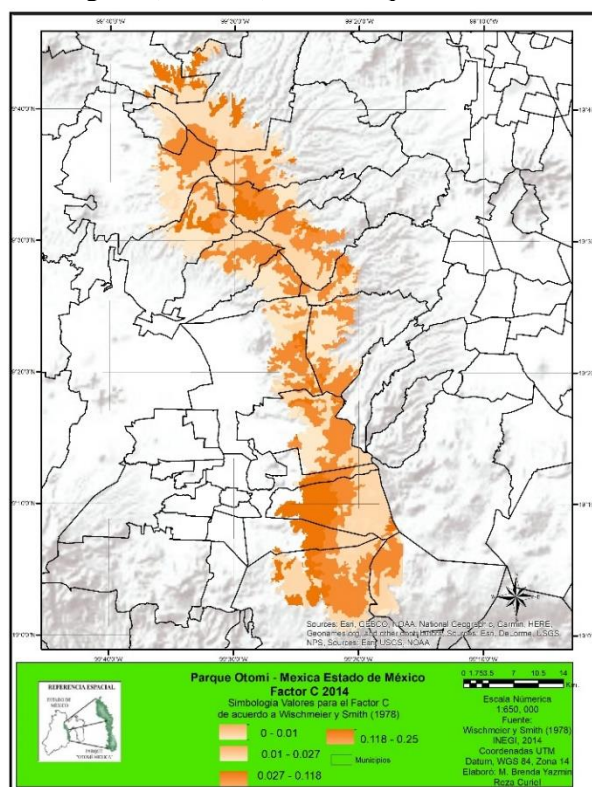
No	Cobertura
1	Agricultura de riego
2	Agricultura de temporal
3	Asentamiento Humano
4	Bosque de Pino
5	Bosque de Encino
6	Bosque de Oyamel
7	Bosque pino-encino
8	Bosque mesófilo de montaña
9	Pastizal inducido
10	Agricultura de riego

Fuente: elaboración propia, (2020).

En la figura 6 se observa que en el año 2014 se identificaron cuatro rangos de cobertura vegetal los cuales son los siguientes: de 0 – 0.01 cuerpos de agua y vegetación, de 0.01 – 0.027 agricultura de riego, pastizal inducido, bosque mesófilo de montaña y asentamientos humanos. De 0.027 –

0.188 bosque de pino – encino, bosque de encino, bosque de pino. De 0.188 – 0.25 corresponde al bosque de oyamel y agricultura de temporal. Dichos valores indican que tan protegida esta la cuenca entre más se acerque su valor a cero, indica que la cuenca tiene una mejor cobertura que le permite protegerse de la lluvia y así disminuir el efecto de la erosión hídrica. Las mayores coberturas y protección de suelo se observan en los ecosistemas de bosque de pino, agricultura de temporal y bosque de pino – encino, localizándose al noreste, noroeste, sureste y suroeste.

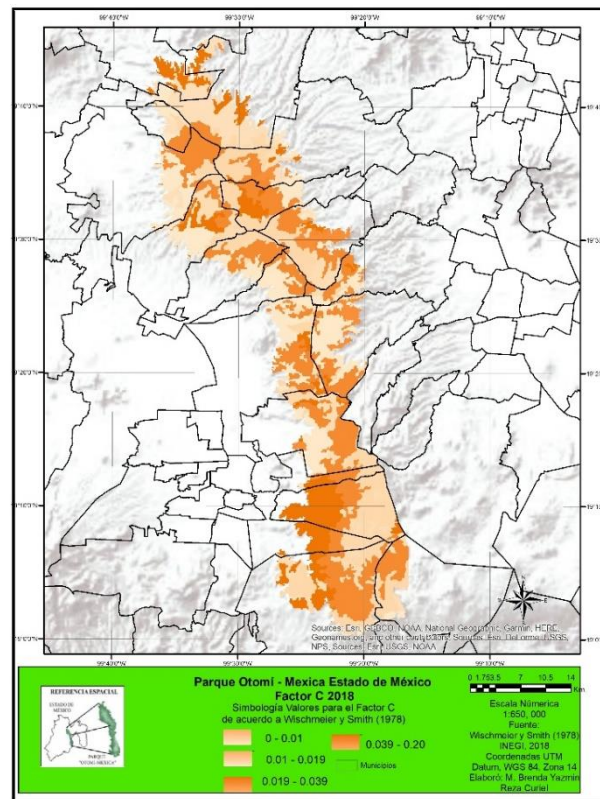
FIGURA 6
Cobertura vegetal (Factor C) en el Parque Otomí - Mexica 2014



Fuente: Elaboración propia con base en (WISCHMEIER WALTER & SMITH DWIGHT, 1978 E INEGI 2014)

En la figura 7 se observa que en el año 2018 se identificaron cuatro rangos los cuales son los siguientes: 0 – 0.01 cuerpos de agua y vegetación. De 0.01 – 0.019 agricultura de riego, pastizal inducido, bosque mesófilo de montaña y asentamientos humanos. De 0.019 – 0.039 bosque de pino – encino, bosque de encino, bosque de pino. De 0.039 – 0.20 bosque de oyamel y agricultura de temporal. Dichos valores indican la capacidad de retención del suelo que tienen las diferentes coberturas vegetales. Entre más se acerque su valor a cero, indica que el suelo en el parque tiene una mayor cobertura que le permite protegerse de la lluvia y así disminuir el efecto de la erosión hídrica. Las mayores coberturas y protección de suelo se observan en los ecosistemas de bosque de pino – encino, bosque de pino y agricultura de temporal, localizándose al noreste, noroeste, sureste y suroeste.

FIGURA 7
Cobertura vegetal (Factor C) en el Parque Otomí - Mexica 2018



Fuente: Elaboración propia con base en (WISCHMEIER WALTER & SMITH DWIGHT, 1978 E INEGI 2018)

4.5 EROSIÓN DEL SUELO EN EL PARQUE OTOMÍ – MEXICA ESTADO DE MÉXICO 2014

Una vez obtenidos los diferentes factores R erosividad de lluvia, K erosionabilidad del suelo, LS longitud de la pendiente y pendiente media del terreno y C cobertura vegetal, correspondientes a la Ecuación RUSLE. En formato raster para cada factor se multiplicaron los valores mediante la herramienta Map Algebra en Arcgis. Posteriormente se clasificaron 5 rangos diferentes de acuerdo a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2001).

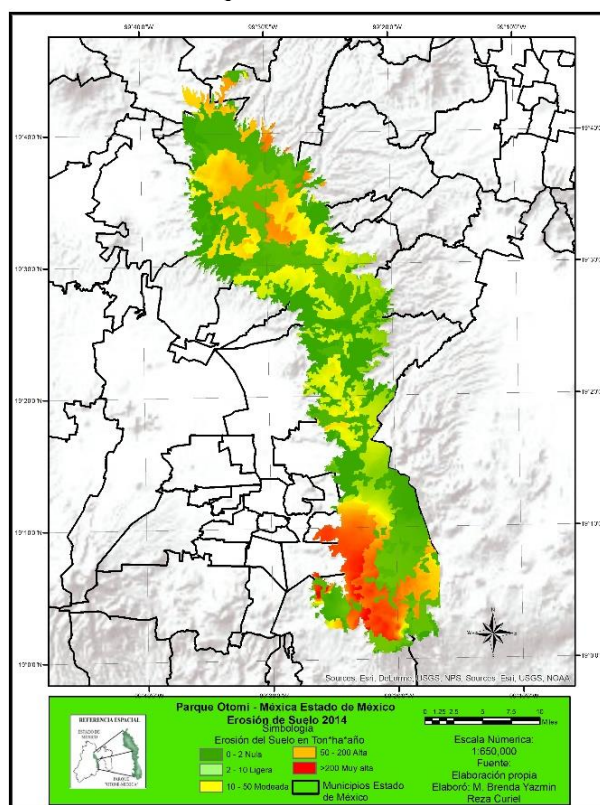
De acuerdo con la figura 8 el primer rango (0 – 2 ton. de suelo erosionado por hectárea) representa la nula existencia de erosión del suelo, los ecosistemas que la presentan son; bosque de pino, agricultura de temporal y bosque de pino – encino que se localizan en la zona norte, sur y centro abarcando casi toda el área de estudio, los principales factores para que exista nula erosión en estas zonas es debido a que existen menores pendientes lo que genera mayor desarrollo y protección del suelo y en estas zonas existen menores precipitaciones, lo que propicia menor erosivo, y por tanto mayor retención de suelo.

El segundo rango (2 – 10 ton.ha⁻¹) representa una erosión ligera, los ecosistemas afectados son; bosque de pino, agricultura de temporal y bosque de pino – encino; que se localizan con menor frecuencia en las zonas norte, centro y sureste de la zona de estudio, donde terminan los valles fluviales. El tercer rango (10 – 50 ton.ha⁻¹) representa la erosión moderada, que se localiza en la parte norte, centro y poco en el sur, esta se observa en zonas donde comienzan a desarrollarse las altiplanicies.

El cuarto rango (50 – 200 ton.ha⁻¹) muestra erosión alta; los ecosistemas que la presentan son el bosque de encino, bosque de oyamel y bosque de encino – pino, que se localizan al norte, sureste y suroeste, teniendo como patrón similar al factor R, erosividad de la lluvia y el factor LS longitud de la pendiente y pendiente media del terreno, donde destacan las mayores altitudes y pendientes.

El quinto rango ($>200 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) muestra erosión muy alta; los ecosistemas con mayor erosión son el bosque de oyamel, bosque de encino y la agricultura de temporal, que se localizan en la parte norte, sureste y suroeste del área de estudio, donde también se presentan las mayores pendientes de la zona de estudio; y son las zonas con menor retención de suelo.

FIGURA 8
Erosión del suelo en el Parque Otomí - Mexica Estado de México 2014



Fuente: Elaboración propia, 2014

4.6 EROSIÓN DEL SUELO EN EL PARQUE OTOMÍ – MEXICA ESTADO DE MÉXICO 2018

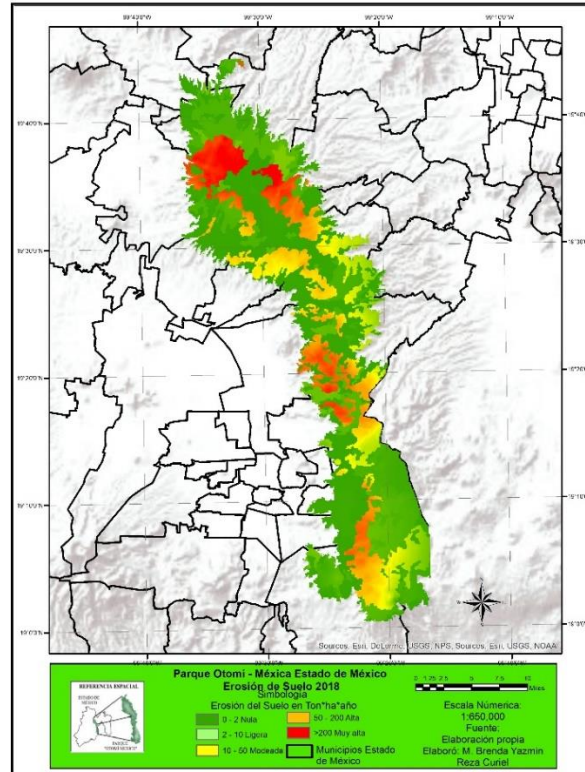
De acuerdo con la figura 9, el primer rango (0 – 2 toneladas de suelo erosionado por hectárea) representa la nula existencia de erosión del suelo, que se localiza en las zonas norte, sur y centro abarcando casi toda el área de estudio, los principales factores para que exista nula erosión en estas zonas es debido a que existen menores pendientes, lo que genera mayor desarrollo y protección del suelo, así mismo en estas zonas se presentan menores precipitaciones, lo que propicia a que sean menos erosivos. Estas son las zonas con mayor capacidad de retención de suelo.

El segundo rango (2 – 10 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) representa la erosión ligera; los ecosistemas que la presentan son el bosque de pino – encino, bosque de pino y agricultura de temporal, y se localizan con menor frecuencia en las zonas noreste y sureste del área de estudio, donde terminan los valles fluviales. El tercer rango (10 – 50 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) representa la erosión moderada, los ecosistemas afectados son el bosque de oyamel y la agricultura de temporal; se localizan en las zonas noreste, noroeste y sureste, donde comienzan a desarrollarse las altiplanicies.

El cuarto rango (50 – 200 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) muestra la erosión alta; el ecosistema más afectado es el bosque de oyamel, que se localiza al suroeste, centro y noroeste; y presenta como patrón similar al factor R, erosividad de la lluvia y el factor LS longitud de la pendiente y pendiente media del terreno; donde destacan las mayores altitudes y pendientes. Por último, el quinto rango ($>200 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) representa la erosión muy alta y los ecosistemas que presentan la mayor erosión son;

agricultura de temporal, bosque de oyamel y bosque de encino, que se localizan al norte y centro del área de estudio, donde también se presentan las mayores pendientes de la zona de estudio. Estas zonas presentan la menor capacidad de retención de suelo.

FIGURA 9
Erosión del suelo en el Parque Otomí - Mexica Estado de México 2018



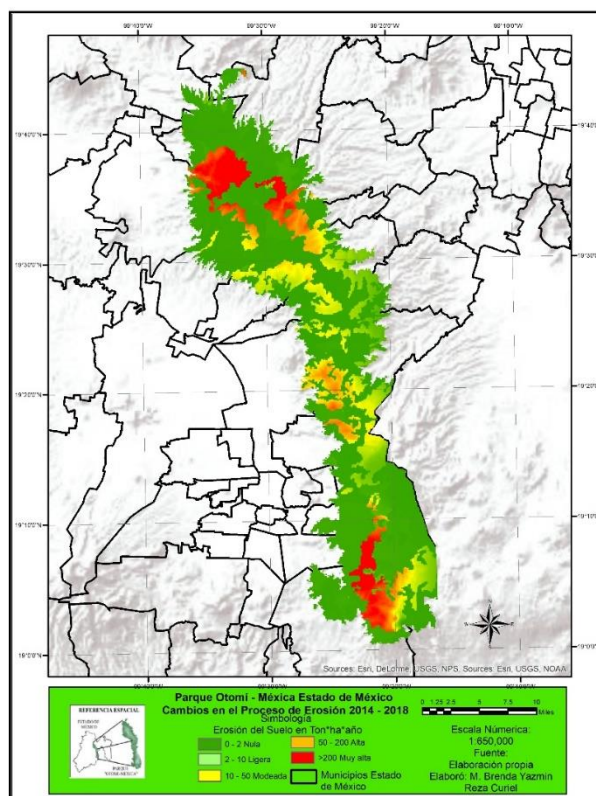
Fuente: Elaboración propia, 2018

4.7 CAMBIOS EN EL PROCESO DE EROSIÓN EN EL PARQUE OTOMÍ – MEXICA, ESTADO DE MÉXICO 2014 Y 2018

Como se visualiza en la figura 10, los cambios en el proceso de erosión en el periodo, para el área de estudio, se presentan con mayor intensidad en las zonas norte, sur y centro; al norte pasa de moderada a muy alta y aumenta dos rangos, en el sur el cambio fue de muy alta a alta y disminuye un rango; en el centro fue de moderada a alta y aumenta un rango.

FIGURA 10

Cambios en el proceso de erosión en el Parque Otomí – Mexica, Estado de México 2014 y 2018



Fuente: Elaboración propia, 2014 – 2018

5. CONCLUSIONES

A medida que aumenta longitud de la pendiente y pendiente media del terreno, aumenta significativamente la erosión de suelo por lo que se concluye que tanto para el año 2014 y 2018 los ecosistemas con mayor grado de erosión fueron: bosque de oyamel, bosque de encino y agricultura de temporal, que se localizan en zonas con menor retención de suelo.

El empleo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el desarrollo de este estudio, demostró la utilidad de dicha tecnología en el análisis, evaluación y representación cartográfica de la distribución espacial de la erosión, y permitió localizar geográficamente las áreas más afectadas.

Los resultados alcanzados permiten obtener una visión global a gran escala de las áreas más susceptibles a la erosión y en contraparte a la mayor retención del suelo en el Parque Otomí Mexica y permiten orientar la toma de decisiones políticas para la conservación y desarrollo sustentable del recurso suelo.

6. BIBLIOGRAFÍA

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Bosques templados de México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/bosqueTemplado> [Consulta: 25 de noviembre de 2020]

ECOCIENCIA. (2009). Programa de Conservación y Manejo del Parque Estatal Otomí-Mexica del Estado de México, Toluca Estado de México, México. Gobierno del Estado de México.

GEM. Gobierno del Estado de México. (1980). Decreto del Área Natural Protegida Parque Ecológico, Turístico y Recreativo Zempoala-La Bufa denominado Parque Otomí-Mexica del Estado de México, Toluca Estado de México, México. Gobierno del Estado de México.

GONZÁLEZ DEL TÁNAGO (1991) "La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. Pasado, Presente y Futuro" *Revista de Ecología*, n°. 5, p. 13 – 50

- INEGI. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática. (2001). Guía para la interpretación de cartografía edafológica, Aguascalientes México.
- INEGI. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática. (2018). Guía para la interpretación de cartografía edafológica, Estado de México.
- JUAN PÉREZ *et al.*, (2017). Análisis socioespacial, geográfico, ambiental y ecológico del Parque Otomí-Mexica Estado de México. Serie de Conservación y Manejo de Áreas Naturales Protegidas del Altiplano Mexicano, España. Editorial Eumed, 224pp
- LAURA RAMÍREZ, (2010) “Estimación de la Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica en la cuenca del Río Juramento – Salta” Tesina de Grado para obtener el título de Ing. en Rec. Nat. y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ciencias Naturales, Ingeniería en Recursos Naturales y Medio Ambiente, Argentina.
- MANCILLA ESCOBAR, (2008) “Uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) en el campo forestal” Apuntes Docentes Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura, Santiago, Chile.
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019). Áreas Naturales Protegidas. Recuperado de http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_BIODIV04_06&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce
- VARGAS LOMELÍN (2015) *Estimación de la erosión hídrica actual y potencial de la sub-cuenca de Sayula, Jalisco, México* Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco pp.25 – 37.
- WISCHMEIER WALTER & SMITH DWIGHT, (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses. A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC. Disponible en: <http://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>