

2008B – 2013B

208449228

Universidad de Guadalajara

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

División de Ciencias Biológicas y Ambientales



**Estimación de la Erosión Hídrica Actual y
Potencial de la Sub-cuenca de Sayula,
Jalisco, México**

Tesis profesional

que para obtener el título de

Licenciado en Biología

presenta:

José Guillermo Vargas Lomelín

Las Agujas, Zapopan, Jalisco

Diciembre de 2015

Estimación de la Erosión Hídrica Actual y Potencial de la Sub-cuenca de Sayula, Jalisco, México

José Guillermo Vargas Lomelín

Tesis dirigida por:

M.C. Héctor Gerardo Frías Ureña

Profesor Investigador de la Universidad de Guadalajara

Tesis asesorada por:

M.C. Jorge Luis Nieves Frausto

Subgerente de Conservación y Restauración de Suelos Forestales, CONAFOR
(Comisión Nacional Forestal)



Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Coordinación de Carrera de la Licenciatura en Biología

C. JOSÉ GUILLERMO VARGAS LOMELÍN.
PRESENTE

Manifetamos a usted, que con esta fecha, ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de **TESIS E INFORMES** opción **TESIS** con el título: **"Estimación de la Erosión Hídrica Actual y Potencial de la Sub-cuenca de Sayula, Jalisco, México"**, para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos, que ha sido aceptado como director de dicho trabajo: **M.C. Héctor Gerardo Frías Ureña** y como asesor a: **M.C. Jorge Luis Nieves Frausto**.

Sin más por el momento, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
"PIENSA Y TRABAJA"

Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jal., 3 de noviembre de 2015.


DRA. GEORGINA ABRIANA QUIROZ ROCHA
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN




DRA. CLAUDIA AURORA URIBE MÚ.
SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

Dra. Georgina Adriana Quiroz Rocha.
 Presidente del Comité de Titulación.
 Licenciatura en Biología.
 CUCBA.
 Presente

Nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad Tesis con el título: "Estimación de la Erosión Hídrica Actual y Potencial de la Sub-cuenca de Sayula, Jalisco, México", que realizó el pasante José Guillermo Vargas Lomelín con número de código 208449228, consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión.

Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.

Atentamente
 Lugar y fecha.

En Zapopan, Jalisco a los 06 de Noviembre del 2015

Firma 
 Nombre Héctor G. Frías Ureña
 Director/a del trabajo,

Firma 
 Nombre Jorge Luis Neves Frausto.
 Asesor(es)



Nombre completo de los Sinodales asignados por el Comité de Titulación	Firma de aprobado	Fecha de aprobación
DR. MIGUEL ÁNGEL MACÍAS RODRÍGUEZ		09/NOV/2015
M.C. RAFAEL DE JESÚS HERNÁNDEZ GARCÍA		9/NOV./2015
Dr. Jorge Pedro Tapete Ángel		9/nov/2015
Supl. M.C. Ramón Leya Ramírez		9/nov/2015

DECLARACIÓN DE LA CARRERA DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA

 19/Nov/2015

“En verdad os digo mis hermanos, el Hombre debe ser superado...”
Friedrich W. Nietzsche.

Dedicatoria:

**A todo espíritu inconforme cuya sed por la superación, por la justicia y por la realización de sus ideales pintan el cuadro palpitante de su existencia...
sean leales, sean perseverantes y sean estoicos.**

Agradecimientos

A mi madre Rosario del Carmen Lomelín Batista y a mi padre José Vargas Rodríguez, por su amor y apoyo incondicional.

A mi familia por exigir lo mejor de mí.

A la Universidad de Guadalajara por auspiciar mis estudios de Licenciatura.

A mi director de tesis, el M.C. Héctor Gerardo Frías Ureña, por aceptarme en el presente proyecto y guiar mi trabajo de tesis.

A mis sinodales; el Dr. Miguel Ángel Macías Rodríguez, el M.C. Rafael Hernández García, el Dr. Jorge Pedro Topete Ángel y el M.C. Ramón Ceja, por sus críticas y sugerencias constructivas para mejorar este trabajo.

A mi asesor de tesis, el M.C. Jorge Luis Nieves Frausto, por sus buenas recomendaciones para enriquecer este trabajo.

A los Hijos de la Viuda, por enseñarme el valor de la duda y recordarme que no existen verdades absolutas.

A mis amigos por enseñarme que no todo el aprendizaje viene de los libros.

A mis compañeros de la CONAFOR, por recordarme que la superación profesional no es una opción, sino una obligación.

Índice

1	Introducción.....	1
2	Marco Teórico y Antecedentes	3
2.1	Definición de Cuenca	3
2.2	Definición de Suelo.....	3
2.2.1	Importancia y Funciones del Suelo.....	4
2.3	Degradación del Suelo.....	4
2.4	Erosión.....	4
2.4.1	Erosión Hídrica.....	5
2.5	Evolución de los Modelos de Estimación de Erosión Hídrica.....	6
2.6.1	Uso de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo Revisada en el contexto internacional.....	7
2.6.2	Uso de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo Revisada en el contexto nacional.....	9
2.7	Estudios de erosión y degradación de suelos en el Estado de Jalisco.....	10
3	Justificación.....	11
4	Objetivos.....	12
	Objetivo General:.....	12
	Objetivos Particulares.....	12
3-	Generar mapas temáticos de la erosión hídrica actual y potencial de la Sub-cuenca de Sayula.....	12
4-	Desarrollar una propuesta para implementar obras y prácticas de conservación de suelos en el área de estudio.....	12
5	Materiales y Métodos	13
5.1	Localización	13
5.2	Geología.....	14

5.3 Suelos.....	16
5.4 Vegetación	18
5.5 Uso de Suelo	21
5.6 Clima.....	23
5.7 Ecuación RUSLE	25
5.7.1 Modelo de Estimación de Erosión Hídrica.....	25
5.7.2 Ecuación para el Cálculo de los Factores del Modelo RUSLE	25
5.8 Procedimiento metodológico.....	27
5.8.1 Recolección de datos.....	27
5.8.2 Integración de Datos a un SIG	31
5.8.3 Análisis y Discusión de Resultados	34
6.0 Resultados	37
6.1 Factor R.....	37
6.2 Factor K.....	40
6.3 Factor LS.....	43
6.4 Factor C.....	46
6.5 Erosión Actual	49
6.6 Erosión Potencial	52
7.0 Discusión.....	55
7.1 Estudio realizado por la SEMARNAT	55
7.2 Estudio realizado por la CONAFOR – Universidad Autónoma de Chapingo.....	56
7.3 Estimación de la erosión actual en el presente estudio.....	57
7.4 Estimación de la erosión potencial en el presente estudio	58
7.5 Análisis Comparativo.....	59
8.0 Propuesta de Obras y Prácticas de Conservación y Restauración de Suelos	60

9.0 Conclusiones	63
Literatura Citada	64

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Localización de la Sub-cuenca de Sayula	13
Ilustración 2. Geología de la Sub-cuenca de Sayula según INEGI 2010	15
Ilustración 3. Tipos de suelos en la Sub-cuenca de Sayula según INEGI 2010	17
Ilustración 4. Uso de suelo y vegetación de la Sub-cuenca de Sayula según Serie IV de INEGI	22
Ilustración 5. Climas dentro de la Sub-cuenca de Sayula según INEGI 2010.....	24
Ilustración 6. Mapa de la distribución de las unidades fisiográficas.....	35
Ilustración 7. Distribución del Factor R por unidad fisiográfica	37
Ilustración 8. Distribución del Factor K por cada unidad fisiográfica.....	40
Ilustración 9. Distribución del Factor LS por unidad fisiográfica	43
Ilustración 10. Distribución del Factor C por unidad fisiográfica	46
Ilustración 11. Distribución erosión actual por unidad fisiográfica	49
Ilustración 12. Distribución de la erosión potencial por unidad fisiográfica.....	52
Ilustración 13. Distribución de la erosión actual en la Sub-cuenca de Sayula (SEMARNAT, 2001-2002)	55
Ilustración 14. Distribución de la erosión actual en la Sub-cuenca de Sayula (UACH - CONAFOR, 2014)	56
Ilustración 15. Distribución de la erosión actual en la Sub-cuenca de Sayula (estudio de tesis, 2015)	57
Ilustración 16. Distribución de la erosión potencial en la Sub-cuenca de Sayula (estudio de tesis, 2015)	58

Índice de Tablas

Tabla 1. Conformación geológica de la Sub-cuenca de Sayula según INEGI 2010	14
Tabla 2. Tipos de suelo de la Sub-cuenca de Sayula según INEGI 2010	16
Tabla 3. Superficie del uso de suelo y vegetación de la Sub-cuenca de Sayula según la Serie IV de INEGI	21
Tabla 4. Superficie de los tipos climáticos según INEGI 2010.....	23
Tabla 5. Media Mensual de precipitación de las Estaciones Meteorológicas.....	27
Tabla 6. Valores de parámetros para factor K.....	31
Tabla 7. Valor anual del factor de la cobertura vegetal (R.P.C. Morgan, 1997).....	34
Tabla 8. Nomenclatura y superficie de las unidades fisiográficas	36
Tabla 9. Mínimos y máximos del factor R por unidad fisiográfica	38
Tabla 10. Mínimos y máximos del Factor K por unidad fisiográfica	41
Tabla 11. Valor del factor LS por unidad fisiográfica	44
Tabla 12. Mínimos y máximos del Factor C por unidad fisiográfica	47
Tabla 13. Mínimos y máximos de erosión actual por unidad fisiográfica	50
Tabla 14. Mínimos y máximos de la erosión potencial por unidad fisiográfica.....	53
Tabla 15. Análisis comparativo de superficie afectada por erosión hídrica	59

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Comportamiento promedio de los máximos y mínimos del Factor R por tipo de unidad fisiográfica.....	39
Gráfica 2. Comportamiento promedio de los máximos y mínimos del Factor K por tipo de unidad fisiográfica.....	42
Gráfica 3. Comportamiento promedio del valor del factor LS por unidad fisiográfica	45
Gráfica 4. Comportamiento promedio de los mínimos y máximos de erosión actual por unidad fisiográfica.....	51

Gráfica 5. Comportamiento promedio de los mínimos y máximos de la erosión potencial por unidad fisiográfica..... 54

1 Introducción

En el año 1980, la población en México alcanzó 66,846,833 individuos. El censo en el año 2010 señaló un incremento en la población mexicana a 112,336,538 personas. Mientras tanto, en el estado de Jalisco, la población fue de 4,371,998 en el año 1980 y aumentó a 7,350,682 en el año 2010 (INEGI 1980).

Éste aumento de la población implica el cambio en el uso de suelo de predios utilizados para la producción agrícola a uso urbano. Este proceso se ve seguido de una deforestación de las tierras con uso forestal para el uso agrícola o pecuario. Así mismo, el incremento de la población ejerce presión en los suelos al requerir de una mayor producción agrícola para satisfacer la demanda alimentaria. Si a esto le agregamos las malas prácticas agrícolas y el sobrepastoreo de los predios utilizados para las mismas; la aceleración de la degradación de las tierras por la erosión es inevitable (CONAFOR, 2014).

Los principales causantes la degradación física de suelos son la erosión hídrica y la erosión eólica (CONAFOR, 2012).

En la actualidad, la erosión hídrica de suelos es reconocida como uno de los principales problemas globales, no sólo por factores antrópicos, sino también por la intensificación de la variabilidad climática (López Santos, *et al*, 2015).

La degradación de tierras es un fenómeno global con implicaciones locales. Según estudios hechos por la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), actualmente los costos de la degradación de suelos ascienden a \$40,000,000,000.00 dólares americanos en una escala global (FAO, 2007).

En Latinoamérica, la baja de la producción agroalimentaria y forestal, causado por la degradación del suelo, ha costado entre el 6.6% y el 24% del Producto Interno Bruto (PIB) (CONAFOR, 2012).

En México, 44.9% de la superficie del suelo muestra signos de degradación. Entre las diversas magnitudes, el 22.8% de los suelos del territorio nacional muestra

señales de degradación ligera, seguido por 20% con degradación moderada, 1.9% fuerte y 0.7% severa (SEMARNAT, 2009).

En cuanto al estado de Jalisco, el informe final de la línea base de degradación de tierras y desertificación señaló que el 33.6 % de su superficie de tierras muestra signos de degradación ligera, el 13.4 % moderada, el 39.3 % severa, el 6.9 % extrema y sólo el 6.8 % no parece tener degradación alguna (CONAFOR - UACH, 2014).

La Sub-cuenca de Sayula, Jalisco, ha tenido un papel importante en la producción alimentaria de la región sur. Su topografía, geología y clima han propiciado la formación de la laguna salina de Sayula y la generación de suelos que facilitan la producción agrícola y pecuaria. La presencia de la laguna, así como la producción de granos en espacios abiertos, establecen las condiciones necesarias para el arribo de aves migratorias. Debido a esto, la laguna ha sido declarada como sitio RAMSAR. Además, la Sub-cuenca de Sayula proporciona los siguientes servicios ambientales: captura de carbono, captación de la precipitación pluvial, la biodiversidad natural, producción de oxígeno, refugio de fauna silvestre, paisajismo escénico, etc, (UdeG, 2009).

Uno de los mayores problemas ambientales que presenta la Sub-cuenca de Sayula es la degradación física de la tierra por erosión hídrica. Estimar la pérdida de suelo en la Sub-cuenca de Sayula es importante para señalar los puntos críticos de degradación del suelo por erosión hídrica. Por lo que el presente estudio pretende estimar la erosión hídrica actual (en función de la cobertura vegetal del suelo) y la potencial (en el caso hipotético de que la cobertura vegetal fuera removida).

2 Marco Teórico y Antecedentes

2.1 Definición de Cuenca

Definimos a una cuenca hidrográfica como una extensión de la superficie terrestre cuyos escurrimientos drenan a un mismo punto. Se delimita mediante la unión de los puntos de mayor elevación altitudinal, denominada parteaguas, el cual dirige los escurrimientos superficiales hacia un mismo punto por acción de la gravedad. Debido al tipo de salida de agua, las cuencas se clasifican en dos tipos: endorreicas y exorreicas (Moreno, 1999).

2.2 Definición de Suelo

El suelo está constituido por propiedades físicas, químicas y biológicas. Las físicas constituyen la morfología, su textura, estructura, color, etc. Sus características químicas incluyen sus componentes orgánicos e inorgánicos, su capacidad de absorción y adsorción, intercambio iónico y su pH. Las biológicas se refieren a la ecología, en referencia a la calidad y cantidad de biota existente (J. Porta, 2003).

También se define al suelo como un cuerpo formado por sólidos (material mineral y material orgánico), líquidos y gases que hay sobre la superficie de la Tierra, que ocupan un lugar en el espacio y que presentan una o ambas de las siguientes características: horizontes o capas que se diferencian del material parental como resultado de ganancias, pérdidas, transferencias, y transformaciones de energía y materia; o por la habilidad de soportar raíces de plantas en un ambiente natural (SSSA 1998).

Sintetizando las definiciones anteriores, podemos definir al suelo como un cuerpo natural, tridimensional, formando a partir de la intemperización del material geológico original a través del tiempo, y compuesto por diversos horizontes, que dependiendo de su distancia con la roca madre y el origen del mismo, conservan propiedades minerales y orgánicas que lo enriquecen. El horizonte con mayor cantidad de materia orgánica es la capa superficial, y es en ésta donde se sostienen las actividades biológicas y productivas.

2.2.1 Importancia y Funciones del Suelo

Se establecen seis funciones principales del suelo: (Moreno, 1999).

- i) Producción agrícola y forestal;
- ii) Filtración, amortiguación y transformación;
- iii) Reserva genética;
- iv) Fuente de materia prima;
- v) Infraestructura;
- vi) Herencia Cultural.

El suelo es la base de todos los ecosistemas terrestres. Posibilita la producción agrícola, pecuaria, y por lo tanto, sustenta las actividades alimentarias del ser humano (Bridges, 1999).

2.3 Degradación del Suelo

Se considera al suelo como un recurso no renovable, debido al largo tiempo que se requiere para su formación. Su degradación se traduce como la pérdida de productividad biológica y de potencial para sostener vida humana, inducida por las actividades antrópicas (SEMARNAT, 2003).

La degradación del suelo se presenta de tres maneras: física, química y biológica. Dentro de las físicas, se encuentra el endurecimiento de la capa superficial, la desertificación, la erosión hídrica y la erosión eólica. De forma química, el suelo se degrada con la disminución de la fertilidad y el desequilibrio elemental. El deterioro biológico consta de la pérdida de biodiversidad (reducción de la biota) (J. Porta, 2003).

2.4 Erosión

La erosión es el desprendimiento y arrastre de las partículas del suelo principalmente por acción del agua y el viento (Moreno, 1999).

Los factores que influyen en las tasas de erosión son la energía, resistencia y protección. (Morgan, 2009)

El principal daño que causa la erosión es la pérdida del suelo. Sin embargo, existen otros daños indirectos que éste proceso causa, como lo menciona Vázquez (1983), citado por Moreno (1999):

- 1) Gradual adelgazamiento y pérdida paulatina de la fertilidad del suelo.
- 2) Endurecimiento del suelo y la aparición de grava o rocas.
- 3) Formación de grietas por las que escurre el agua hasta transformarlas en cárcavas.
- 4) Disminución de la productividad agrícola.
- 5) Pérdida de infiltración.
- 6) Disminución de los acuíferos.
- 7) Pérdida de la capacidad de retención de agua.
- 8) Sedimentación de cuerpos de agua.
- 9) Efectos sociales: pobreza, marginación y pérdidas económicas del sector agrícola.
- 10)

2.4.1 Erosión Hídrica

La erosión hídrica es el arrastre de las partículas de la superficie del suelo por el agua. Aunque sucede sin necesidad de actividades antrópicas, su efecto sí es incrementado por el deterioro de la cobertura vegetal, causada por el hombre.

Diversos factores intervienen en los procesos de erosión hídricos (FAO-PNUMA, 1980):

- a) **Climáticos** traducido en el potencial erosivo de la lluvia.
- b) **Edáficos** expresado como la erodabilidad o susceptibilidad del suelo para ser erosionado.
- c) **Topográficos** manifestados en la longitud, forma y pendiente del terreno.
- d) **Humanos** representados básicamente por la degradación de la cubierta vegetal, alterando:
 - El tipo de vegetación

- El desarrollo de la misma a través del año
- El porcentaje de cobertura
- La rugosidad del terreno
- Las condiciones de la superficie del suelo.

La erosión hídrica consta de tres fases: primero, el desprendimiento de las partículas por salpicadura de las gotas de agua; segunda, el arrastre de las mismas por las escorrentías hídricas debido a la saturación de humedad del suelo; y tercero, su posterior depósito en ríos, lagos o mares al ceder las fuerzas de la gravedad (Morgan, 2009)

2.5 Evolución de los Modelos de Estimación de Erosión Hídrica

Los modelos de estimación de la erosión hídrica y evaluación de las pérdidas de suelo, comenzaron con las investigaciones del Forest Service de USA (1915) y de M.F. Miller (1917), al analizar los efectos de distintos tipos de cobertura vegetal y la rotación de cultivos sobre escorrentías y la erosión en parcelas experimentales. Estos estudios se complementaron con la investigación de la importancia del impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo, hecha por Laws (1940) y Ellison (1947). El primer modelo que consideró de manera conjunta los parámetros de la cubierta vegetal, (C), longitud de la pendiente (L), la inclinación de la pendiente (S), el valor de la precipitación (P_{30}), así como la erodabilidad del suelo (e) fue el de Musgrave desarrollado en 1947. El Forest Service y el Soil Conservation Service trabajaron durante cuarenta años aproximadamente para mejorar los métodos previos, dando como resultado el modelo del USLE (Universal Soil Loss Equation), desarrollada principalmente por Wischermeier y Smith en 1978.

El modelo USLE evolucionó conforme se desarrollaron investigaciones y prácticas de estimación de la erosión, generando así el RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation). Aunque basado en la misma fórmula, éste método varía del USLE en: una aproximación que toma en cuenta la variación temporal en el cálculo del factor K; una nueva ecuación para calcular el factor LS; una aproximación subfactorial

para evaluar el manejo de la vegetación, nuevos valores a las prácticas de conservación (State of Michigan University, 2002).

Finalmente, el modelo RUSLE queda de la siguiente manera:

$$E = R K L S C P$$

- a) El **Factor R** representa la erosividad de la lluvia en función de la energía cinética de la precipitación;
- b) El **Factor K** equivale la erodabilidad del suelo;
- c) El **Factor LS** mide el efecto de la longitud y la magnitud de la pendiente;
- d) El **Factor C** expresa el valor de la cobertura vegetal, y;
- e) El **Factor P** estima el valor de las prácticas de conservación.

2.6.1 Uso de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo Revisada en el contexto internacional

En 2001, se aplicó los modelos USLE/RUSLE para estimar la pérdida de suelo en la cuenca del Río Plata, en Uruguay. El factor R se obtuvo de un mapa previamente trabajado de isoerodentas (líneas que unen áreas de lluvias igualmente erosivas de medición). El factor K se obtuvo de las estimaciones del factor K de las 99 unidades de Reconocimiento de Suelos. El factor LS así como el C se tomaron de la literatura Renard *et al* 1991. Los autores mencionan que, aunque la USLE fue diseñada para el cálculo de la erosión hídrica en parcelas individuales, la ecuación se puede adaptar para estimar la erosión en cuencas mediante la inclusión de la información de escurrimientos hidrológicos (Cléric *et al*, 2001).

En 2012, Bonilla *et al*, predijeron la erosión actual en el condado de Santo Domingo en Chile mediante la aplicación del RUSLE, a través de la integración de los factores que condicionan la erosión a un SIG (Sistemas de Información Geográfica), utilizando la cubierta vegetal actual y 3 escenarios hipotéticos de cobertura. Bajo el escenario actual, 39.7% del condado demuestra tener tasas de pérdida de suelo bajas (<0.1 t*ha*año), 39.8% presenta tasas intermedias (0.1-1.0

t*ha*año) y 10.4% muestra tasas altas de pérdida de suelo (> 1.1 t*ha*año). Bajo los escenarios hipotéticos de cubierta vegetal recomendada, 89.3% del condado tiene tasas de erosión baja y el resto de la superficie moderada. (Bonilla *et al*, 2010).

En 2010, Adediji *et al*, estimaron la erosión potencial en el área de Katsina del estado Katsina de Nigeria mediante la aplicación de los parámetros de la RUSLE a un SIG y utilizando sensores remotos. Para la obtención de los parámetros del factor LS, C y P, se utilizó un DEM (modelo de elevación digital) e imágenes satelitales Landsat ETM + 2002. La media estadística de erosión potencial en el área es de 17.35 ton*ac*año y en donde 65.47% de la superficie presenta de 0-10 35 ton*ac*año. Los sitios con mayor erosión se presentan en un rango de 104.80 a 4185.12 35 ton*ac*año, representando un 1.86% del área de estudio (Adedjiji *et al*, 2010)

En 2013, se estimó el riesgo de erosión de la cuenca baja Grijalva-Usumacinta, mediante la integración de las variables de erosión a un SIG. En este estudio, se obtuvo el valor de la erosividad de la lluvia mediante la recolección de datos climáticos de 237 estaciones meteorológicas y se interpolaron los valores mediante la ecuación geoestadística de Kriging. Para obtener el porcentaje de las pendientes de las geoformas, se creó un modelo de elevación digital con una resolución de 90 m, clasificando las pendientes bajo los siguientes criterios: 0 a 2 % planas; 2 a 5 % ligeramente ondulado; 5 a 10 % ondulado; 10 a 25 % ondulado y mayores a 25 % escarpado. Para determinar la erodabilidad del suelo, se utilizó una integración de los tipos de suelo de acuerdo a la WRB 2006 (por sus siglas en inglés, Base Referencial Mundial) del Suelo, y se hizo una clasificación supervisada con imágenes del satélite SPOT 5 del año 2008 (Sánchez Hernández *et al*, 2013).

En 2014, se evaluó de manera cuantitativa la distribución espacial de riesgo de erosión mediante el modelo RUSLE en conjunto con al distribución espacial de

sedimentos en el sistema semiárido de captación de agua de la presa de irrigación en Sarakoy II, Turquía. (Deviren-Saygin S. *et al*, 2014).

También en 2014, se estimó la erosión actual y potencial de los suelos del Parque Natural Sierras de Cardeña y Montoro en el sur de España, mediante la aplicación del RUSLE a través de un SIG. El factor R se calculó mediante el índice de Fournier (1960) modificado por Arnoldus (1980). Se estimó el factor K mediante el método de Wischmeier y Smith (1978). El factor LS se estimó según Wischmeier (1982). El factor C se obtuvo mediante los valores expuestos por ICONA (1987). El factor P para el caso de la erosión potencial, se calculó con el método de Wischmeier y Smith (1978). En este estudio, se comprobó que la cubierta vegetal es el factor más determinante para el control de la erosividad de la lluvia (Lozano-García *et al*, 2014).

2.6.2 Uso de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo Revisada en el contexto nacional

En 2003, se comparó un método directo de estimación de erosión basado en la estratificación de unidades geomorfológicas con el RUSLE utilizando dos variantes, la de la FAO y la del índice P/2, para la estimación de la erosión hídrica en una microcuenca en el municipio de Hualahuises en el Nuevo León, México. El método de la FAO resultó estadísticamente igual que el método directo, mientras que el método del índice P/2 resultó diferente. Los autores del estudio sugieren incorporar al RUSLE un factor de ponderación para estimar la erosión en cárcavas (Marisela-Pando *et al*, 2003).

En 2010, en el tendido eléctrico La Ventosa-Juile, Oaxaca, se calculó la erosión hídrica mediante la aplicación de la USLE. Con los resultados obtenidos, se tomaron decisiones para desarrollar medidas de mitigación de la erosión, como lo son obras de conservación de suelos y agua (Hernández-Morales, 2010).

En 2012, se estimó la erosión hídrica en las cuencas de los Ríos Huixtla, Huehuetán y Coatán en Chiapas por efectos del Huracán “Stan” mediante una

función del SIG que permite multiplicar parámetros de datos tipo RASTER llamada álgebra de mapas. Se utilizó la extensión SWAT (por sus siglas en inglés, Soil and Water Assessment Tool) y un modelo digital del terreno escala 1:10,000 del INEGI para la caracterización del sitio; además, se utilizaron imágenes del satélite Landsat TM 4 para describir el uso del suelo de 1990 y del satélite SPOT 2005 para el uso del suelo. Las imágenes fueron analizadas con el programa Idrisi Kilimanjaro. El estudio estimó las tasas de erosión para el año 1995 y para el año 2005, y después se hizo un análisis comparativo entre las tasas de erosión de los dos años (Pérez-Nieto *et al*, 2012).

2.7 Estudios de erosión y degradación de suelos en el Estado de Jalisco

En el periodo 2001-2003, se realizó un estudio con escala 1:250,000 para evaluar la erosión hídrica y eólica en la cuenca Lerma-Chapala por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. En cuanto a la pérdida de suelo por factores hídricos, se estimó la erosión actual y la potencial mediante la aplicación de la USLE a través de un SIG (SEMARNAT, 2001).

En el mismo periodo, la SEMARNAT realizó un estudio con escala 1:1,000,000, en el cual se estimó la erosión hídrica y eólica en todo el territorio nacional. Dicho estudio también se estimó mediante la USLE (SEMARNAT, 2001).

En 2003, se estimaron los factores R, K, LS, C y P de la USLE a través de un SIG para estimar la erosión actual y potencial en la cuenca hidrográfica de El Jihuate en Tepatitlán de Morelos, Jalisco. También se valoró la tolerancia de la pérdida de suelo con los valores indicados por Heimlich y Bills (Flores-López, *et al*. 2003).

En el 2013, la CONAFOR obtuvo la línea base nacional de la degradación de tierras y desertificación de la República Mexicana. Dicho estudio señala los indicadores que evalúan la degradación de tierras, de recursos edáficos, hídricos, biológicos y los factores climáticos y socioeconómicos que impulsan dicha degradación (CONAFOR - UACH, 2014).

3 Justificación

La erosión es un fenómeno natural, sin embargo, el deterioro de la cobertura vegetal lo acelera. Unos de los causantes más importantes de degradación de la vegetación son los manejos inadecuados del hombre.

El suelo es la base de todos los ecosistemas terrestres por lo que la degradación del suelo debido a la erosión hídrica causa el deterioro ecosistémico. De la misma manera, el suelo posee la mayor reserva de carbono en los ecosistemas terrestres. El arrastre de materia orgánica y minerales provoca la alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

En la Sub-cuenca de Sayula, 64,384.37 ha están cubiertas por ecosistemas forestales y 56,572.91 ha por terrenos de producción agrícola. La erosión hídrica causa la pérdida de productividad en los ecosistemas forestales y de los terrenos agrícolas, repercutiendo en las cadenas productivas de este sector. La disminución de la capacidad productiva de los ecosistemas forestales repercute en la captura de carbono de la atmosfera.

Aunque ya se han realizado estudios de degradación de suelos por la erosión hídrica en la Sub-cuenca de Sayula, no existe información actualizada a una escala que genere información puntual sobre éste tema.

El desconocimiento de las tasas de erosión en la Sub-cuenca de Sayula así como el de los sitios que presentan una mayor degradación física por pérdida de suelo puede repercutir en la toma de decisiones desfavorables para el desarrollo sustentable y para la mitigación de los efectos del cambio climático en el área de estudio.

4 Objetivos.

Objetivo General: Estimar la erosión hídrica actual y potencial del suelo de la Sub-cuenca de Sayula mediante la aplicación de las variables ambientales al modelo matemático RUSLE.

Objetivos Particulares

- 1- Estimar la erosión hídrica actual en la Sub-cuenca de Sayula con una escala de trabajo de 1:50,000.
- 2- Estimar la erosión hídrica potencial en la Sub-cuenca de Sayula con una escala de trabajo de 1:50,000.
- 3- Generar mapas temáticos de la erosión hídrica actual y potencial de la Sub-cuenca de Sayula.
- 4- Desarrollar una propuesta para implementar obras y prácticas de conservación de suelos en el área de estudio.

5.2 Geología

La Región de la Sub-cuenca de Sayula se localiza dentro de la provincia geológica del Eje Neovolcánico. La mayoría de sus rocas fueron formadas durante el periodo Triásico Tardío y el inicio del Cuaternario, como son los depósitos aluviales, y formaciones de basalto (INEGI, 2014).

La cuenca está compuesta litológicamente por rocas sedimentarias tipo Areniscas, Lutitas y brecha volcánica; rocas ígneas extrusivas ácidas, básicas e intermedias, Toba (origen volcánico), basalto, y depósitos aluviales (Carta Geológica, INEGI 2010).

La tabla 1 detalla la conformación geológica de la Sub-cuenca de Sayula:

Tabla 1. Conformación geológica de la Sub-cuenca de Sayula según INEGI 2010

Roca	Superficie (ha)	Porcentaje
Basalto	62864.98	42.60
Aluvial	42890.45	29.06
Toba	19543.77	13.24
Brecha volcánica	11627.10	7.87
Lacustre	7030.94	4.76
Residual	1021.38	0.69
Andesita	976.49	0.66
Extrusiva intermedia	710.67	0.48
Extrusiva ácida	559.98	0.37
Extrusiva básica	114.49	0.07
Cuerpo de agua	101.97	0.07
Lutita-Arenisca	67.73	0.04
Caliza	46.78	0.03
Suma	147557.28	100

La ilustración 2 muestra la distribución espacial de la conformación geológica de la Sub-cuenca de Sayula:

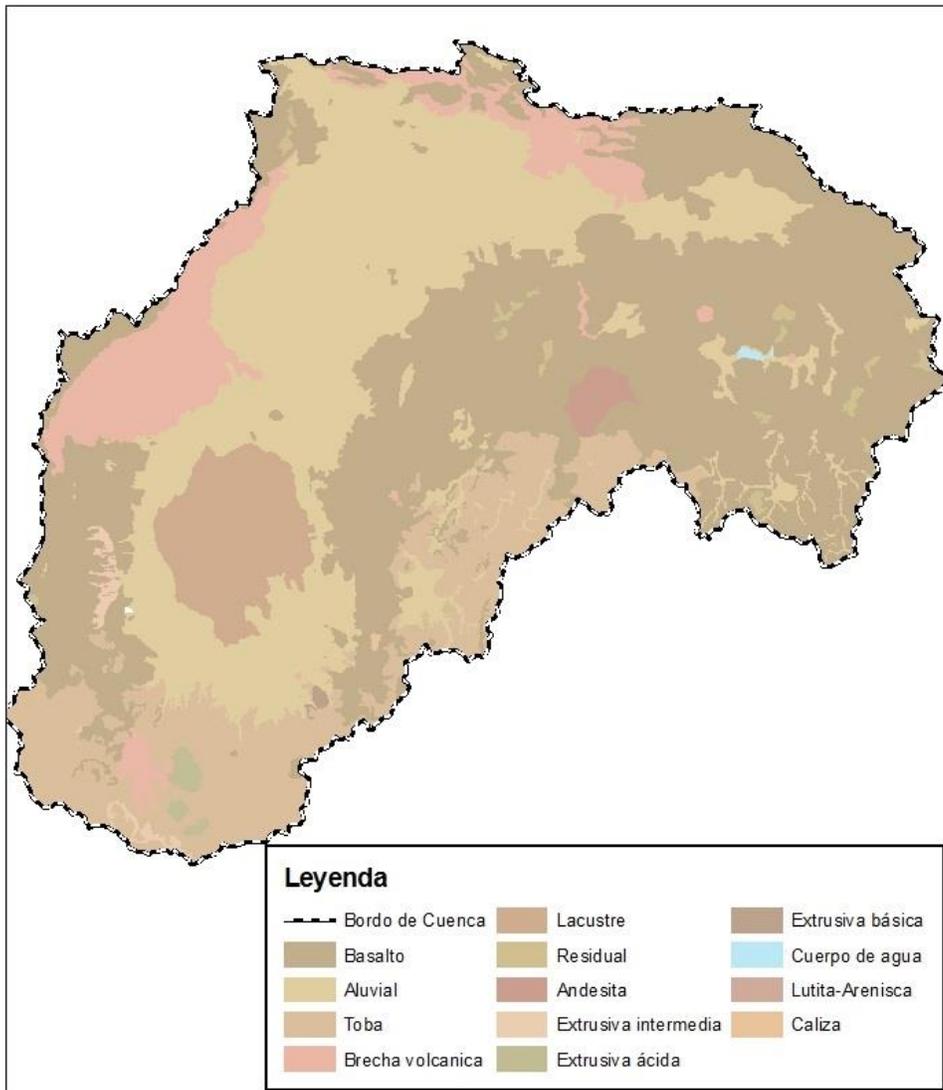


Ilustración 2. Geología de la Sub-cuenca de Sayula según INEGI 2010

5.3 Suelos

En la Sub-cuenca de Sayula, se encuentran ocho tipos de suelos. Dentro de estos, se incluyen los Andosoles, los cuales están distribuidos dentro de las porciones más elevadas de los escarpes tectónicos de la ladera occidental, así como la ladera oriental de la cuenca; los Cambisoles, distribuidos a lo largo de los escarpes tectónicos de la ladera sur occidental y suroriental de la cuenca y en algunas porciones del valle central de la cuenca; los Feozemes se encuentran distribuidos en grandes porciones a lo largo del relieve aluvial que rodea el valle; los Litosoles se encuentran distribuidos desde elevaciones medias hasta elevaciones altas dentro del polígono de la cuenca, rodeando el valle; la distribución de los Luvisoles se encuentran restringida en los escarpes tectónicos de la porción oriental del polígono de la cuenca; los Regosoles están distribuidos en las áreas con elevación media en las serranías del sur de la cuenca; los Solonchaks están distribuidos dentro de la porción central del valle de la cuenca; y los Vertisoles los encontramos distribuidos mayoritariamente en la porción oriental del polígono, constituyendo gran parte de las laderas con elevación media (Carta Edafológica, INEGI 2010).

La tabla 2 detalla la superficie de los tipos de suelo de la Sub-cuenca de Sayula:

Tabla 2. Tipos de suelo de la Sub-cuenca de Sayula según INEGI 2010

Clasificación del Suelo	Superficie (ha)	Porcentaje
Cambisoles	39294.20	26.62
Acrisoles	32414.99	21.96
Luvisoles	25737.38	17.44
Solonchakes	22425.65	15.19
Vertisoles	8654.53	5.86
Lixisoles	7853.18	5.32
Leptosoles	5088.86	3.44
Fluvisoles	3266.41	2.21
Nitrosoles	1062.98	0.72
Arenosoles	1000.98	0.67
Regosoles	758.	0.51
Suma	147557.288	100

La ilustración 3 muestra los tipos de suelos presentes en la Sub-cuenca de Sayula:

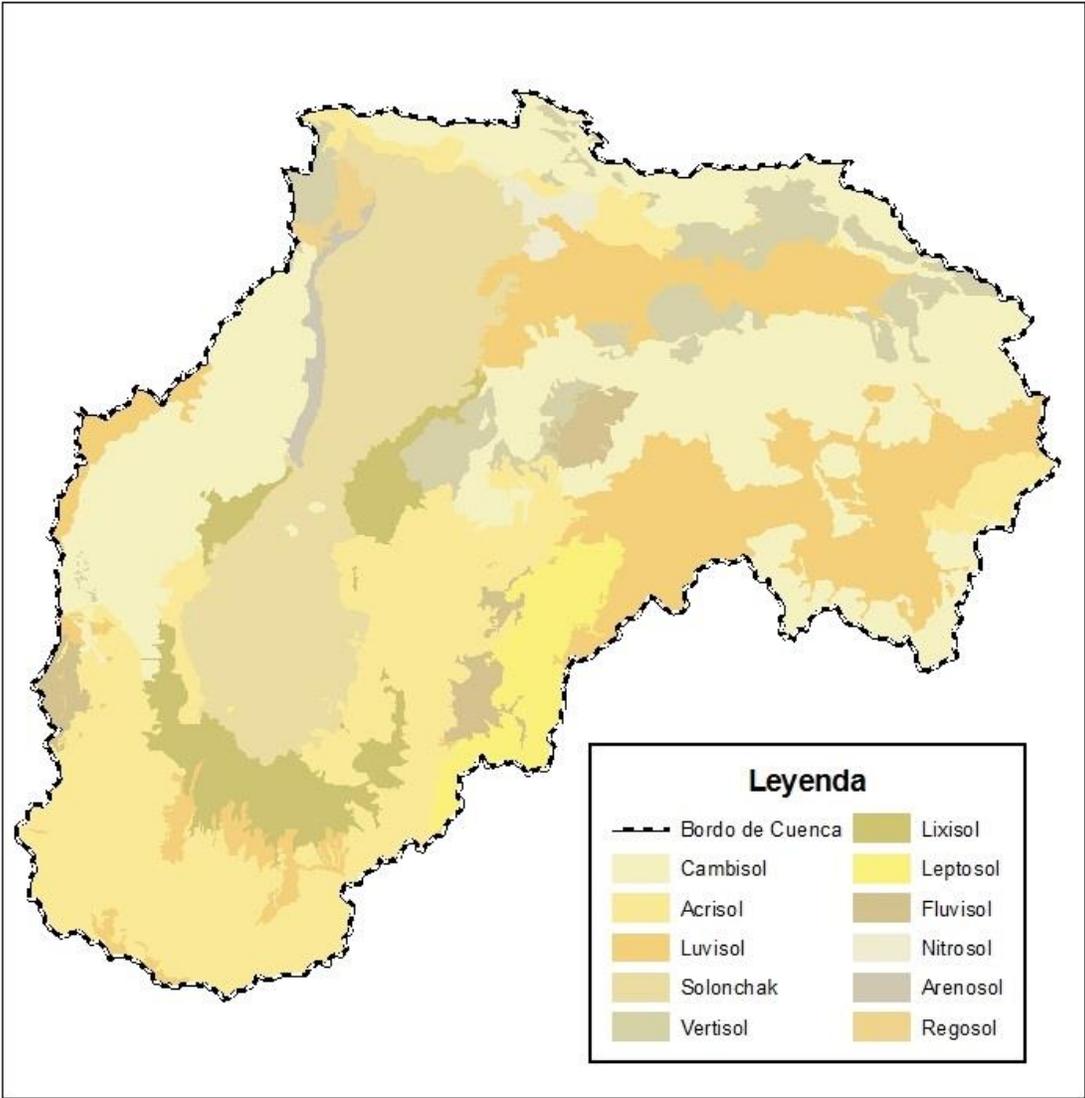


Ilustración 3. Tipos de suelos en la Sub-cuenca de Sayula según INEGI 2010

5.4 Vegetación

Estudios hechos por Macías-Rodríguez (2004) y Contreras-Rodríguez *et al.* (2013), señalan que dentro de la Sub-cuenca de Sayula se encuentran los siguientes tipos de vegetación:

Bosques de Coníferas: comunidad vegetal formada por pinos: los bosques de coníferas son frecuentes en los climas templados y fríos. Se desarrollan a altitudes entre los 1,500 y 3,000 m, y en temperaturas medias entre los 10° y los 20° C, con un lluvias oscilando entre 600 y 1000 mm anuales (Rzedowski, 2006).

Según Contreras-Rodríguez *et al.* (2013), esta comunidad vegetal se distribuye en las partes altas de las sierras que rodean a la laguna y también en el Cerro de García.

Bosque Espinoso: este tipo de vegetación tiene como característica común la de conformarse por bosques bajos y cuyos principales componentes son árboles espinosos. Se desarrollan en sitios planos o semiplanos con clima seco, en su mayoría. Prosperan en altitudes de 0 a 2,200 m y por lo tanto, en una gran variedad de climas, con un rango de temperatura de entre 17° a 29° C, y una precipitación media anual entre 350 a 1200 mm anuales (Rzedowski, 2006).

En el área de estudio, el bosque prolifera de 4 a 15 m de altura. Se presenta como un mosaico homogéneo en todos los lugares donde se desarrolla, constituido por especies arbóreas que no sobrepasan los 4 m de altura en su mayoría (Macías-Rodríguez, 2004).

Bosque de *Quercus*: los bosques de *Quercus* o encinar representan comunidades vegetales característicos de las zonas montañosas de México. Prosperan en climas templados con lluvias en verano C(w) según la clasificación de Köppen, pero también tienen presencia en climas templados con lluvias abundantes todo el año C(f), templados con lluvia en invierno C(s), templados con escasas de lluvia todo el año C(x'), cálidos húmedos tropicales con lluvia en verano A(f), cálidos húmedos tropicales con lluvia en verano A(w) y secos

esteparios BS. La precipitación medial anual se distribuye dentro de un rango de 350 mm a más de 2,000 mm en casos extremos, aunque generalmente su rango está entre 600 y 1,200mm. Proliferan entre 12-26°C (Rzedowski, 2006).

En la Sub-cuenca de Sayula, se encuentra distribuido principalmente en la Sierra de Tapalpa, debajo de los límites con los bosques de coníferas. También colinda con la selva baja caducifolia y sitios con agricultura de temporal (Contreras-Rodríguez *et al.* 2013).

Pastizales Halófilos: se denomina pastizal a la comunidad vegetal dominada por gramíneas, y pastizal halófilo, a aquellos que se desarrollan en suelos salinos. Los suelos con exceso de sales se presentan en lugares cercanos a la costa, las regiones de clima árido y en las partes bajas de las cuencas endorréicas de origen aluvial. El pH es alcalino, con valores entre 7.5 a 10 (Macías-Rodríguez, 2004).

Esta comunidad vegetal se encuentra solamente en el vaso de la laguna, en forma de franjas anulares angostas y manchones dispersos, constituidos por estratos herbáceos de zacatal bajo conformado por diversas especies (Contreras-Rodríguez *et al.* 2013).

Bosque Tropical Caducifolio: bosques propios de regiones de clima cálido y dominados por especies arborecentes que pierden sus hojas en la época seca del año durante lapsos variables. En México se desarrolla entre 0 y 1,900 m. La temperatura media anual en que prolifera este tipo de vegetación oscila entre 20° - 29°. El tipo de clima más común correspondiente a la formación de esta vegetación es cálido húmedo tropical con lluvias en verano A(w), aunque también se presenta en tipos climáticos secos esteparios BS y templados con lluvia en verano C(w). La precipitación media anual varía entre 600 y 1200 mm anuales (Rzedowski, 2006).

En el área de estudio, el bosque tropical caducifolio se desarrolla en las laderas de los cerros que circundan la laguna y así como en las partes centrales de la Isla Grande e Isla Chica, dentro del vaso de la laguna (Macías-Rodríguez, 2004).

Vegetación acuática o subacuática:

Según Macías Rodríguez (2004), la vegetación acuática dentro de la cuenca está conformada por tres tipos principales: tular y carrizal, vegetación flotante y vegetación subacuática.

El tular es una comunidad de plantas acuáticas constituida por monocotiledóneas de tres metros de altura y hojas angostas. Están arraigadas en el fondo poco profundo de cuerpos de agua dulces y salobres y se agrupan en superficies de áreas pantanosas y lacustres, a orillas de zanjas, canales y remansos de ríos. El tular se distribuye principalmente en manchones puros o en asociación con otras plantas subacuáticas (Macías-Rodríguez, 2004).

La vegetación flotante es aquella que flota en la superficie del agua, de provistas de órganos de fijación. Proliferan en aguas dulces y moderadamente salobres, en sitios con poca perturbación por corrientes de agua (Macías-Rodríguez, 2004).

La vegetación subacuática se refiere a plantas herbáceas bajas y de tamaño mediano que arraigan en el fondo de depósitos o corrientes someras, pero que una parte substancial de su cuerpo emerge al medio aéreo. Muchas se desarrollan en suelos permanentemente húmedos a la orilla de los cuerpos de agua, en corrientes o zonas pantanosas. Dentro de la laguna esta vegetación se encuentra asociada al tular (Macías-Rodríguez, 2004).

5.5 Uso de Suelo

Para caracterizar el uso de suelo dentro del polígono de la Sub-cuenca de Sayula, se utilizó la Serie IV del INEGI, obteniendo los resultados de la tabla siguiente:

Tabla 3. Superficie del uso de suelo y vegetación de la Sub-cuenca de Sayula según la Serie IV de INEGI

Uso de suelo y vegetación	Superficie (ha)	Porcentaje
Bosque Tropical Caducifolia degradado	37874.09	25.66
Agricultura de Temporal	36045.42	24.42
Agricultura de Riego	20527.49	13.91
Vegetación Halófila Hidrófila	10264.45	6.95
Pastizal	7815.18	5.29
Bosque de <i>Quercus</i> degradado	5741.34	3.89
Bosque de Coníferas	4698.15	3.18
Bosque de Coníferas y <i>Quercus</i>	4490.64	3.04
Cuerpo de agua	4412.55	2.99
Bosque de <i>Quercus</i>	3518.50	2.38
Bosque de Coníferas y <i>Quercus</i> degradado	2975.12	2.01
Sin Vegetación	2652.48	1.79
Bosque de <i>Quercus</i> y Coníferas degradado	1542.88	1.04
Zona Urbana	1455.25	0.98
Bosque de <i>Quercus</i> y Coníferas	1231.11	0.83
Bosque de Conífera con Vegetación degradado	1127.41	0.76
Bosque Tropical Caducifolia	549.92	0.37
Bosque Espinoso degradado	388.76	0.26
Bosque Espinoso	246.45	0.16
Suma	147557.288	100

La ilustración 4 muestra la distribución espacial del uso de suelo y vegetación dentro de la Sub-cuenca de Sayula:

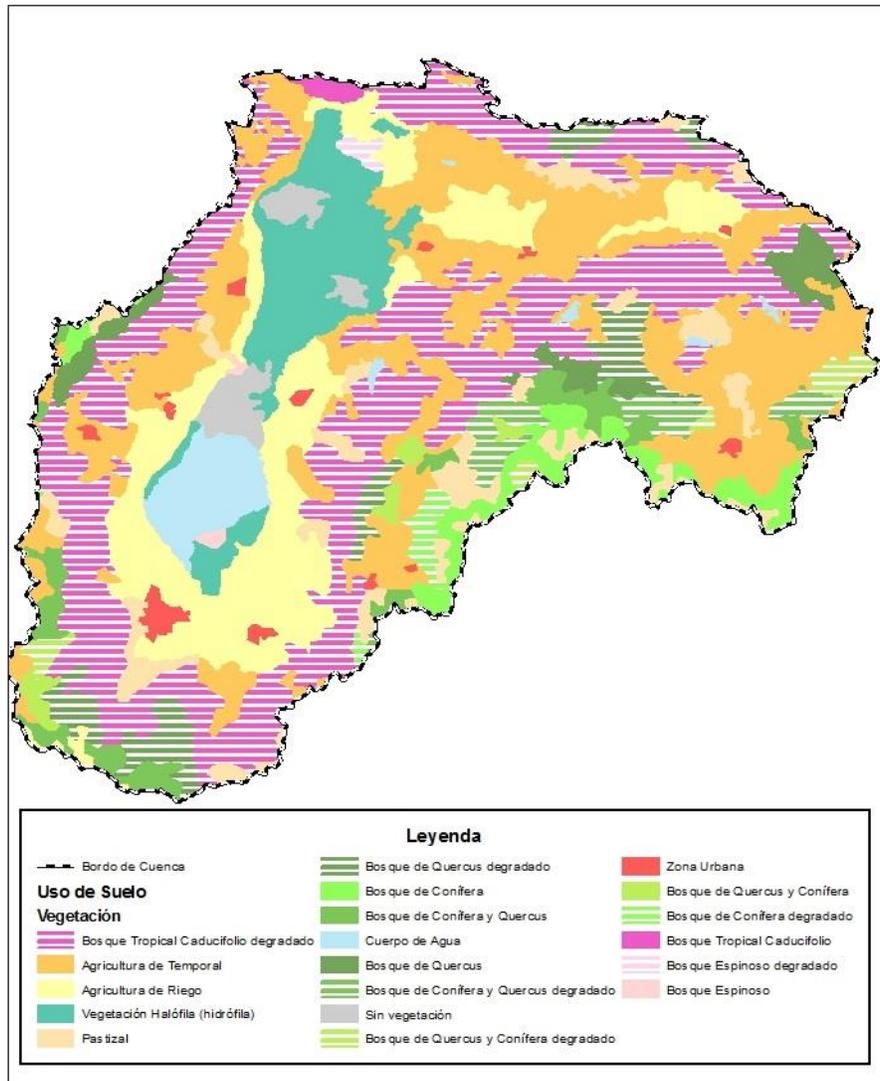


Ilustración 4. Uso de suelo y vegetación de la Sub-cuenca de Sayula según Serie IV de INEGI

5.6 Clima

Dentro del polígono de la Sub-cuenca de Sayula, predominan cuatro tipos climáticos según Köppen modificado por Enriqueta García: BS₁h, semiseco y semicálido con temperatura media anual oscilante entre 18° y 22° C y un régimen de lluvias mayoritariamente durante invierno; A(C)w₀, semicálido con temperatura media anual oscilante entre 18° y 22° C y un régimen de lluvias en verano; Cw₁, templado subhúmedo (intermedio) con una temperatura media anual que varía entre 12° y 18° C y un régimen de lluvias durante el verano; Cw₂, templado subhúmedo (mayor) con temperatura media anual que varía entre 12° y 18° con un régimen de lluvias durante el verano (INEGI, 2010).

La tabla 4 muestra la superficie y el porcentaje que ocupan cada uno de los tipos climáticos presentes en la Sub-cuenca de Sayula.

Tabla 4. Superficie de los tipos climáticos según INEGI 2010

Clima	Superficie (ha)	Porcentaje
BS ₁ h	84563.48	57.3
(A)Cw ₀	37639	25.5
Cw ₁	16270.43	11
Cw ₂	9084.37	6.15
Suma	147557.28	100

La ilustración 5 muestra la distribución espacial de los tipos climáticos presentes dentro de la Sub-cuenca de Sayula:

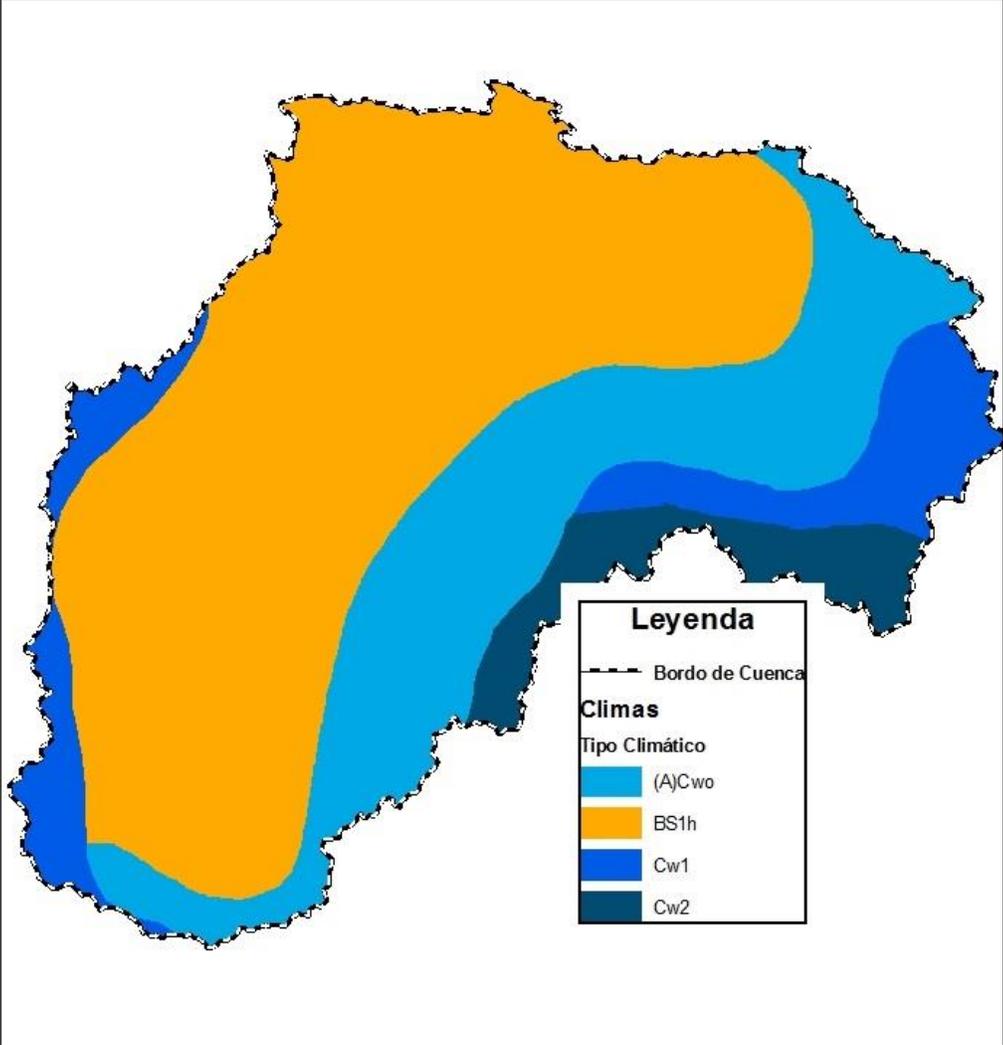


Ilustración 5. Climas dentro de la Sub-cuenca de Sayula según INEGI 2010

5.7 Ecuación RUSLE

Para la realización del presente estudio, se utilizaron los criterios establecidos en la metodología del modelo matemático paramétrico del RUSLE.

5.7.1 Modelo de Estimación de Erosión Hídrica

El modelo RUSLE representa con letras mayúsculas los factores que intervienen en el proceso de la erosión hídrica de la siguiente manera:

$$E = R K L S C P$$

- f) El **Factor R** representa la erosividad de la lluvia en función de la energía cinética de la precipitación;
- g) El **Factor K** equivale la erodabilidad del suelo;
- h) El **Factor LS** mide el efecto de la longitud y la magnitud de la pendiente;
- i) El **Factor C** expresa el valor de la cobertura vegetal, y;
- j) El **Factor P** estima el valor de las prácticas de conservación.

La ecuación del modelo RUSLE para la erosión actual queda de la siguiente manera:

$$E_a = R K L S C P$$

La ecuación del modelo RUSLE para estimar la erosión potencial (en función de un suelo desnudo sin prácticas de conservación) queda de la siguiente manera:

$$E_p = R K L S$$

5.7.2 Ecuación para el Cálculo de los Factores del Modelo RUSLE

Se estimó la erosión actual y potencial calculando los factores de la erosión según los siguientes criterios:

El factor R se calculó mediante la Ecuación de Arnolds modificada por Fornoulds:

$$R = 0.032 (RI)^{1.9}$$

$$RI = \sum \frac{MR^2}{AR}$$

Donde:

MR = Media Mensual de Precipitación Pluvial;

AR = Media Anual de Precipitación Pluvial;

El valor de la erodabilidad de la lluvia (factor K) se calculó mediante la ecuación de Wischmeier, expresada como:

$$K = 1.313 \frac{[2.1(10^{-4})(12 - MO)M^{1.14} + 3.25 (S - 2) + 2.5 (p - 3)]}{100}$$

Donde:

MO = Porcentaje de la materia orgánica del suelo;

S = código de la estructura del suelo;

p = código de permeabilidad;

M = suma de porcentajes de limo y arena muy fina, con la suma de los porcentajes de arena y limo.

El valor de la longitud de la pendiente se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$LS = (\lambda)^m(0.0138 + 0.00965 S + 0.00138 S^2)$$

En donde:

LS = Factor de grado y longitud de la pendiente;

λ = Longitud de la pendiente;

S = Pendiente media del terreno;

m = Parámetro cuyo valor es 0 o 0.5 en un SIG;

El valor de la magnitud de la pendiente se calculó con la siguiente formula:

$$S = \frac{H_a - H_b}{L}$$

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;

5.8 Procedimiento metodológico

El proceso metodológico se dividió en tres fases principales: recolección de datos, integración de datos a un SIG (Sistema de Información Geográfica) y el análisis y discusión de los resultados.

5.8.1 Recolección de datos

Para la obtención del factor R, se recolectó del Sistema Meteorológico Nacional un compendio de las medias estadísticas mensuales y anuales de precipitación durante el periodo de los años 1961 – 2000, tal como viene descrito en la tabla siguiente:

Tabla 5. Media Mensual de precipitación de las Estaciones Meteorológicas

Nombre de Estación	m	Municipio	Mes											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Amacueca	1439	Amacueca	33	4.8	3.8	2.8	22.7	141.5	158.8	109	8.6	42.5	21.1	8.7
Atemajac de Brizuela	2260	Atemajac de Brizuela	32.5	13.3	10.5	12.8	42.4	175.8	211.7	166.1	151.6	77.3	30.7	23.1
Atoyac	1375	Atoyac	15.2	5.2	6.7	5.1	22.3	127.8	146.2	132.1	93.5	45.7	13.1	13.3
Chapala	1532	Chapala	15.2	5.2	6.7	5.1	22.3	127.8	146.2	132.1	93.5	45.7	13.1	13.3
Chiquilistlán	1700	Chiquilistlán	28.2	6.7	1.8	6.3	30.7	219	287.9	215.3	202.4	76.7	30.5	17.4
Ciudad	1515	Cd. Guzmán	39.8	3.1	3.8	2.4	21.4	110.2	147.7	158.6	136.3	89.6	14.5	5.1

Guzmán														
			Mes											
Nombre de Estación	m	Municipio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Concepción de Buenos Aires	2126	Concepción de Buenos Aires	34.4	6.8	4.5	15.1	38.8	163.7	232.5	197.4	151.1	80.8	26.8	11.3
El Nogal	1828	Tapalpa	23.4	15.0	11.7	10.2	37.6	141.6	162.7	121.7	113.0	88.5	30.0	24.1
Gómez Farías	1510	Gomez Farías	39.9	9.2	11.1	7.8	31.3	165.8	195.7	191.2	205.2	92.5	22.3	34.4
Jocotepec	1548	Jocotepec	13.1	8.5	5.5	4.8	20.6	137.6	192.5	161.8	136.3	47.3	15.9	9.8
La Manzanilla de La Paz	2055	La Manzanilla de La Paz	19.1	6.9	6.7	9.1	35.0	169.4	209.4	192.1	148.8	97.2	26.0	8.1
Piedra Barrenada	1530	Jocotepec	21.0	4.0	2.0	5.1	20.6	172.6	204.0	164.2	163.1	55.5	10.6	4.9
Presa El Volantín	1890	Tizapan el Alto	6.7	5.0	3.0	5.1	22.7	132.1	158.0	136.5	122.4	54.1	14.2	6.4
San Gregorio	1845	Gómez Farías	38.5	16.2	9.9	13.9	46.9	205.9	263.2	270.4	244.7	119.2	39.0	24.4
Tapalpa	1950	Tapalpa	42.4	11.6	5.5	14.0	55.2	183.5	171.0	120.6	138.7	102.5	43.6	18.5
Tapalpa	1800	Tapalpa	39.6	10.9	6.3	13.1	51.6	174.7	174.4	122.2	133.2	100.3	41.7	19.8
Teocuitatlán de Corona	1357	Teocuitatlán de Corona	11.3	3.8	3.7	3.2	20.6	86.7	98.6	80.8	65.5	27.9	15.7	8.1
Tizapán El Alto	1534	Tizapán El Alto	18.6	5.5	3.4	10.4	18.5	170.9	171.1	130.2	134.3	47.1	15.4	7.3
Tizapán El Alto	1310	Tizapán El Alto	14.4	9.5	2.0	3.1	15.4	135.5	200.3	136.9	107.7	33.9	14.0	11.3
Tuxcueca	1525	Tuxcueca	27.1	7.0	2.3	1.6	12.8	87.9	172.1	154.6	85.2	33.6	7.9	8.1
Venustiano Carranza	1250	Venustiano Carranza	15.8	15.4	8.8	9.4	25.8	139.5	174.7	134.1	132.3	62.7	44.3	17.2
Zacoalco de Torres	1360	Zacoalco de Torres	5.4	1.1	0.7	2.0	12.2	109.3	136.7	77.5	105.9	31.1	6.5	4.5

Después, se procedió a calcular el factor R con la información de cada estación con la fórmula de Arnolds modificada por Fornoulds anteriormente descrita.

Para la estimación del factor K, se clasificó la cuenca en 37 unidades fisiográficas, caracterizados primeramente con información bibliográfica contenida en SIG, incluyendo los tipos climáticos, la vegetación y uso del suelo, la litología superficial, los tipos de suelos y las geoformas, dominantes o con mayor extensión en cada unidad del paisaje.

Para la delimitación de las unidades fisiográficas se utilizó un SIG y, como base de interpretación visual y al compuesto en falso color de la imagen satelital según la metodología propuesta por Ortiz y Cuanalo (1984). La escala trabajada fue de 1:250,000 y el área mínima cartografiable de 1cm² en el mapa, correspondiente a 625 ha en terreno.

Posteriormente, se realizaron salidas a campo, para los cuales se prepararon los materiales necesarios para realizar los trabajos, agrupados en los siguientes rubros: vehículo, cámara fotográfica, GPS, potenciómetro, conductivímetro, formatos, mapas, índices de descripción, y materiales e insumos para excavar y describir perfiles.

En el levantamiento de datos por sitio se incluyó:

- Ubicación geográfica y altitud.
- Identificación de la vegetación y uso del suelo según el sistema de clasificación utilizado por el INEGI (1991) en sus cartas temáticas escala 1:250,000.
- Descripción de la geoforma, pendiente y micro relieve según el sistema de clasificación propuesto por Daniels y Hammer (1992).
- Identificación litológica según el criterio clásico de clasificación por su origen, descrito en la guía práctica de Bell y Wright (1987) para identificar rocas.
- Descripción por evidencia superficial del suelo de la pedregosidad, la erosión, la inundación, el encharcamiento, la salinidad, la sodicidad, el drenaje, el escurrimiento y la permeabilidad según Cuanalo (1990).

Se tomaron fotografías del paisaje en los cuatro puntos cardinales haciendo hincapié en la geoforma y la cobertura vegetal.

Con el fin de integrar las observaciones colectadas en los trabajos de campo al resto de la información geográfica, se digitalizaron en dos bases de datos georreferenciables, una para los datos de los sitios y otra para los datos de los perfiles.

Se editaron las fotografías y los diagramas antes descritos, posteriormente, se generó una base de datos que liga estas imágenes con la correspondiente

ubicación geográfica de la observación, esto facilitó el análisis y la ilustración de los temas descriptivos de los sitios, perfiles y sistemas terrestres.

Se realizó una clasificación *a priori* de cada perfil (con los datos obtenidos en campo) al nivel de orden (Soil Survey Staff, 2006). Esto ayudó a seleccionar las muestras de las que se analizaron las propiedades físicas y químicas.

Las unidades fisiográficas se consideran unidades del paisaje relativamente homogéneas en función a la escala (Ortiz y Cuanalo, 1984), por lo que los datos recabados con los trabajos de campo se consideraron representativos para caracterizar la correspondiente unidad fisiográfica. Una acepción a lo anterior es el tipo climático, respetándose la caracterización *a priori* que se hizo en el análisis fisiográfico.

Para determinar la erodabilidad del suelo, se realizaron dos muestreos y sus respectivas observaciones por cada unidad fisiográfica. El muestreo tuvo un diseño estratificado aleatorio, considerando dos sitios de muestreo y observación para cada unidad.

Después de excavar el pozo pedológico en cada sitio de muestreo, se tomaron fotografías del perfil, luego, se describió y colectó información según el procedimiento propuesto por Cuanalo (1990), a describir:

- Nomenclatura del horizonte según la clave taxonómica de suelos (Soil Survey Staff, 2006), además de la profundidad, la variación de la profundidad, la forma del límite y el color predominante en seco y húmedo de cada horizonte.
- Descripción de la estructura, estimación de la textura, la consistencia en húmedo y seco, la permeabilidad y el contenido de humedad de los horizontes.
- Cuantificación y descripción de las motas, los nódulos, los poros, las raíces, los cutanes y los fragmentos de rocas y de no rocas presentes en cada horizonte.

- Descripción de la efervescencia al ácido clorhídrico (HCl) y al agua oxigenada (H₂O₂). Además se midió el pH y la conductividad eléctrica en solución 2:1 por horizonte.
- Identificación de evidencia de fauna presente en el perfil.

Se hicieron diagramas de cada perfil, donde se trazaron las capas y los rasgos relevantes de éstas, también se obtuvieron muestras alteradas de cada capa u horizonte para determinar las propiedades físicas y químicas. De los rasgos más relevantes se tomaron muestras inalteradas para elaborar secciones delgadas.

Posteriormente, se aplicaron las variables de cada sitio muestreado en la fórmula de Wischmeier, para calcular el factor K. El cálculo del factor LS y C se aplicó directamente en un SIG.

5.8.2 Integración de Datos a un SIG

La información calculada del factor R de las estaciones meteorológicas se integró como una capa de datos vectoriales en el SIG. Para obtener información puntual del factor R a través de la Sub-cuenca, se interpolaron las estimaciones hechas en cada estación meteorológica utilizando la ecuación geoestadística de Krigging, generando datos tipo RASTER.

Se estimó en cada sitio de muestreo el factor K utilizando la fórmula de Wischmeier, utilizando los parámetros de la siguiente tabla:

Tabla 6. Valores de parámetros para factor K

Perfil	Materia Orgánica	Porcentaje de Limos	Porcentaje de Arcillas	Porcentaje de Arenas	Porcentaje de Arenas Finas	Estructura	Permeabilidad
1	3	15	30	55	28	2	3
2	2	15	30	55	28	4	2
3	2	30	60	10	5	1	3
4	2	50	45	5	3	2	3
5	2	15	30	55	28	2	3
6	2	15	30	55	28	2	3
7	1	5	5	90	45	2	2
8	2	15	30	55	28	1	1

Perfil	Materia Orgánica	Porcentaje de Limos	Porcentaje de Arcillas	Porcentaje de Arenas	Porcentaje de Arenas Finas	Estructura	Permeabilidad
9	0	0	0	0	0	0	0
10	2	30	60	30	15	2	3
11	1	35	35	30	15	2	4
12	4	35	35	30	15	2	2
13	2	30	60	30	15	4	5
14	2	35	35	30	15	2	3
15	2	15	30	55	28	2	5
16	1	35	35	30	15	2	3
17	0	0	0	0	0	0	0
18	3	30	65	5	3	4	3
19	3	35	35	30	15	2	3
20	1	45	50	5	3	2	5
21	0	0	0	0	0	0	0
22	2	45	50	5	3	4	5
23	1	65	15	20	10	2	5
24	2	15	30	55	28	2	3
25	2	35	35	30	15	1	3
26	2	35	35	30	15	2	3
27	2	40	20	40	20	1	2
28	2	35	35	30	15	2	2
29	2	30	65	5	3	2	3
30	2	30	65	5	3	2	3
31	3	30	65	5	3	2	3
32	2	30	60	30	15	2	3
33	2	35	35	30	15	3	3
34	2	65	15	20	10	2	3
35	1	15	25	60	30	2	3
36	3	35	35	30	15	2	3
37	2	30	60	30	15	2	3
38	1	35	35	30	15	1	3
39	2	35	35	30	15	2	3
40	3	35	35	30	15	2	3
41	3	35	35	30	15	2	3
42	2	30	65	5	3	2	3
43	3	35	35	30	15	2	3
44	2	30	60	30	15	2	3
45	2	15	30	55	28	2	3
46	2	15	30	55	28	2	3
47	2	35	35	30	15	2	3
48	2	15	30	55	28	2	3

Perfil	Materia Orgánica	Porcentaje de Limos	Porcentaje de Arcillas	Porcentaje de Arenas	Porcentaje de Arenas Finas	Estructura	Permeabilidad
49	2	35	35	30	15	2	5
50	1	30	60	30	15	2	3
51	2	30	60	30	15	2	2
52	3	40	20	40	20	2	5
53	2	30	65	5	3	2	3
54	3	35	35	30	15	2	3
55	2	35	35	30	15	1	3
56	3	30	65	5	3	2	3
57	3	15	30	55	28	2	3
58	3	35	35	30	15	1	3
59	4	35	35	30	15	1	3
60	3	30	60	30	15	2	3
61	3	35	35	30	15	2	2
62	3	15	30	55	28	4	3
63	2	30	60	30	15	2	5
64	2	30	60	30	15	2	3
65	3	30	65	5	3	4	3

La información obtenida a través de la aplicación de la fórmula de Wischmeier por cada uno de los sitios de muestreo de perfiles se integró como una capa vectorial en SIG. Para obtener información puntual del factor K a través de la superficie de la cuenca, se interpolaron los cálculos hechos en cada sitio de muestreo de suelo utilizando la ecuación geoestadística de Krigging, generando datos tipo RASTER.

Para calcular el valor del factor LS, se trazaron vectores en las principales pendientes de cada unidad fisiográfica utilizando el modelo de elevación digital de la Sub-cuenca a través del SIG para obtener la información de las variables de la fórmula antes descrita. Después, se generaron datos tipo RASTER del valor del factor LS por cada unidad.

Para estimar el factor C, se utilizaron los valores de tipo de vegetación propuestos por R. P. Morgan en 1997 aplicándola a la serie IV del INEGI de uso de suelo y vegetación, calculando los porcentajes reales de cobertura de suelo mediante la densidad aparente de la vegetación a través de la imagen satelital SPOT 2005.

Posteriormente, se generarán datos tipo RASTER con información puntual del factor C a través de la superficie de la cuenca.

Los datos del factor C por comunidad vegetal se describen la tabla 7:

Tabla 7. Valor anual del factor de la cobertura vegetal (R.P.C. Morgan, 1997)

Cultivo y práctica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1
Bosque o Matorral denso	0.001
Pastizal en buenas condiciones	0.01
Patizal sobrepastada	0.1
Maíz o sorgo de alto rendimiento con laboreo convencional	0.2 - 0.55
Maíz o sorgo de alto rendimiento sin laboreo convencional	0.5 - 0.9
Maíz o Sorgo de bajo rendimiento con laboreo mínimo o no laboreo	0.02 - 0.1
Maíz o sorgo de alto rendimiento con laboreo con chisel entre residuos	0.12 - 0.2
Maíz o sorgo de bajo rendimiento con laboreo con chisel entre residuos	0.3 - 0.45
Pastizal	0.01 - 0.025
Soya	0.2 - 0.5
Fresa con cobertura de malas hierbas	0.27
Caña de azúcar	0.13 - 0.40

Se omitió el factor P en virtud a que dentro de la cuenca no existen obras ni prácticas de conservación de suelos, por lo que su valor equivale a uno.

Habiendo obtenido la información tipo RASTER para cada factor de la RUSLE, se multiplicarán los valores mediante la función Map Algebra en SIG, aplicando la fórmula de la erosión actual y la erosión potencial respectivamente.

5.8.3 Análisis y Discusión de Resultados

Para la realización del análisis, se tomó como referencia a las 37 unidades fisiográficas descritas en la metodología para obtener los muestreos de suelo, y se estableció una nomenclatura numérica para facilitar su identificación.

En la ilustración 6, se describe de manera gráfica la distribución espacial de las unidades fisiográficas:

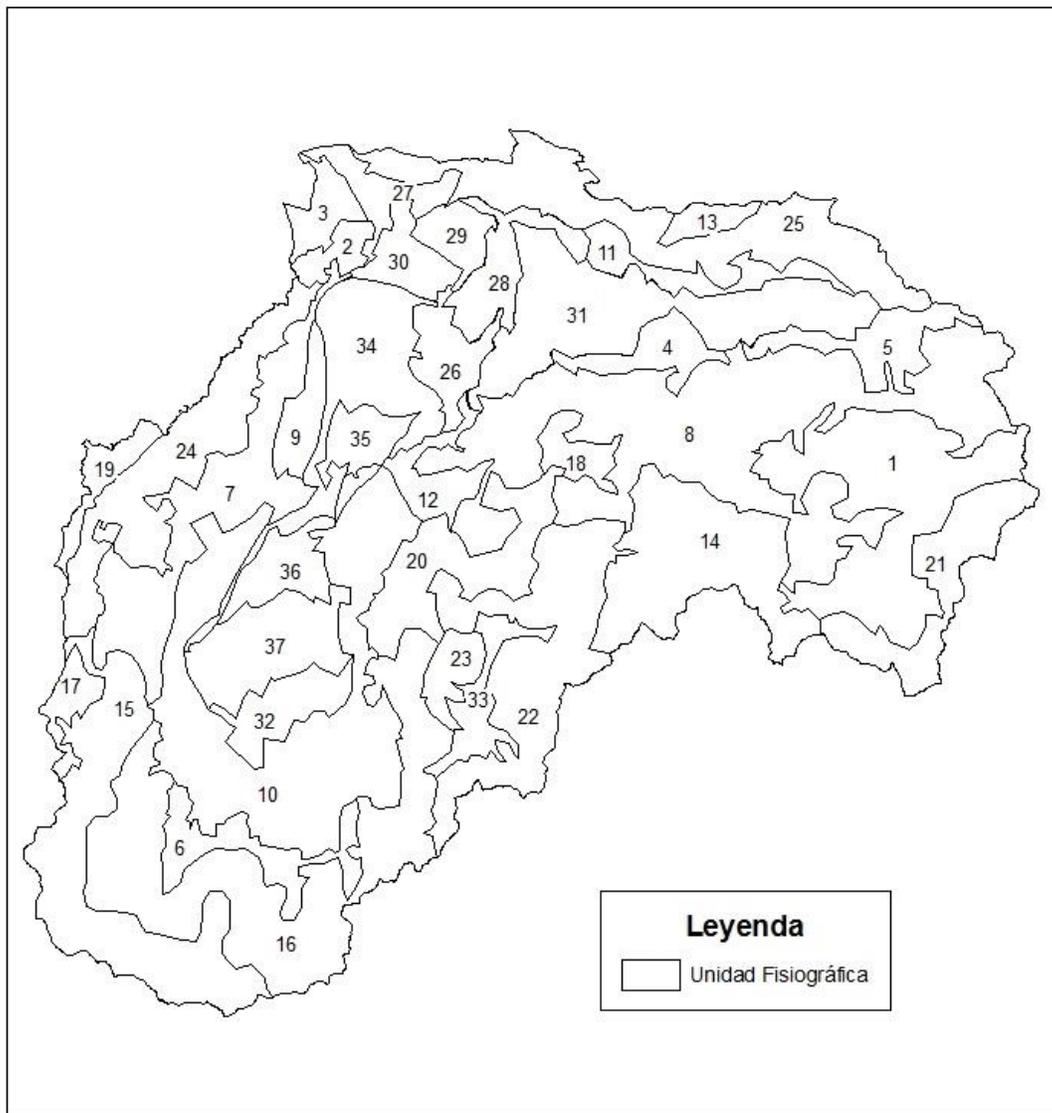


Ilustración 6. Mapa de la distribución de las unidades fisiográficas.

De igual forma, se incluye una tabla con la descripción geomorfológica por cada unidad fisiográfica, así como su nomenclatura numérica correspondiente, ordenada por tipo de unidad fisiográfica:

Tabla 8. Nomenclatura y superficie de las unidades fisiográficas

Fisiografía Cuenca					
Nomenclatura	Unidad Fisiográfica	Superficie (ha)	Nomenclatura	Unidad Fisiográfica	Superficie (ha)
1	Altiplanicie ligeramente escarpada	8593.23	20	Sierra medianamente escarpada	4102.05
2	Cerros medianamente escarpados	820.58	21	Sierra medianamente escarpada	3619.29
3	Cerros medianamente escarpados con valles intramontanos	1170.43	22	Sierra medianamente escarpada	7391.14
4	Lomeríos ligeramente escarpados	1523.39	23	Sierra medianamente escarpada	1105.78
5	Lomeríos ligeramente escarpados con terrazas inclinadas	2159.36	24	Sierra medianamente escarpada con paredones	5688.74
6	Lomeríos medianamente escarpados	2357.74	25	Sierra medianamente escarpada con paredones y terrazas	7587.27
7	Lomeríos medianamente escarpados	6397.58	26	Valle con cerros medianamente escarpados	1765.00
8	Lomeríos medianamente escarpados con cerros y cañadas escarpados	17547.58	27	Valle con colinas	1422.04
9	Piedemonte ligeramente escarpado	1291.11	28	Valle con colinas	2047.86
10	Piedemonte ligeramente escarpado	12499.28	29	Valle con colinas	1153.52
11	Piedemonte medianamente escarpado	1644.68	30	Valle con colinas	1425.93
12	Piedemonte medianamente escarpado	1703.24	31	Valle intramontano	7578.80
13	Sierra fuertemente escarpada	698.90	32	Valle intramontano	1858.50
14	Sierra fuertemente escarpada	6654.68	33	Valle intramontano con manto freático elevado	1519.88
15	Sierra fuertemente escarpada	7865.23	34	Valle intramontano inundable	4985.94
16	Sierra fuertemente escarpada	11870.61	35	Valle intramontano inundable	1230.62
17	Sierra ligeramnete escarpada	949.41	36	Valle intramontano inundable	1666.44
18	Sierra medianamente escarpada	1017.56	37	Valle intramontano inundable	3553.25
19	Sierra medianamente escarpada	1090.74	Total		147557.38

Para la evaluar la magnitud de la erosión presente en la cuenca, se utilizó la clasificación de FAO-PNUMA-UNESCO (1981) para precisar la pérdida de suelo e identificar las áreas con una mayor erosión y aquellas en donde existe un mayor riesgo de erosión.

6.0 Resultados

6.1 Factor R

Los resultados en cuanto a la erosividad de la lluvia se detallan en la ilustración 7, la cual muestra la distribución espacial del factor R, el cual tuvo una similitud con la carta de climas de la región; obtuvo valores máximos de 586.78 $(\text{MJ}\cdot\text{mm})\cdot(\text{ha}\cdot\text{h})^{-1}$ en las unidades fisiográficas con clima Cw_2 ; así mismo, dentro de la región donde la erosividad de la lluvia resultó menor fue en las unidades fisiográficas con clima BS_1h , con valores mínimos de 102.07 $(\text{MJ}\cdot\text{mm})\cdot(\text{ha}\cdot\text{h})^{-1}$.

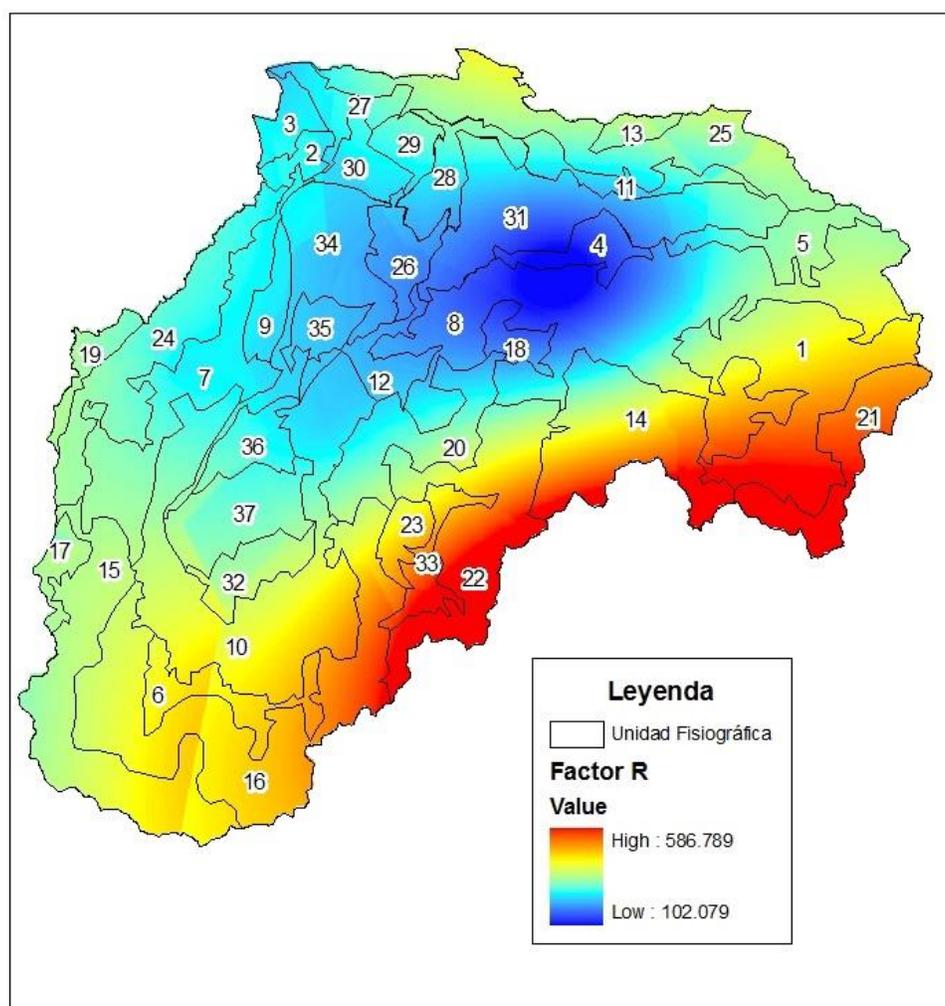


Ilustración 7. Distribución del Factor R por unidad fisiográfica

La unidad fisiográfica donde la precipitación pluvial resultó más erosiva fue en la 22 (sierra medianamente escarpada), seguido por la 14 (sierra fuertemente escarpada) y después la 33 (valle intramontano con manto freático elevado).

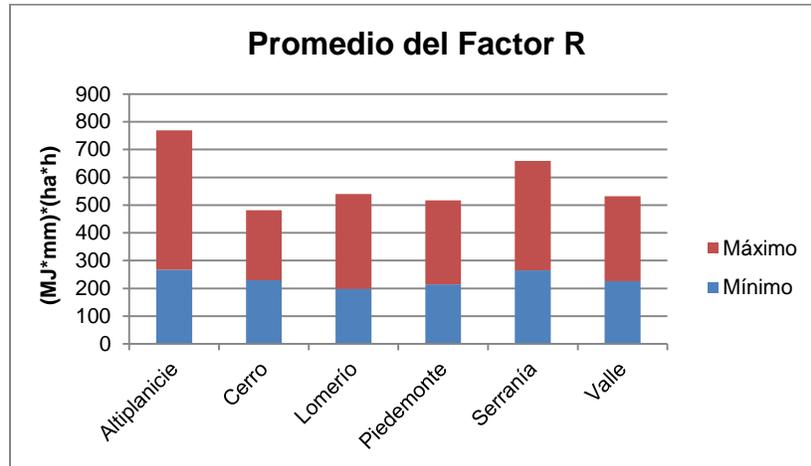
Así mismo, la unidad fisiográfica con precipitación pluvial con menor poder erosivo resultó ser la 8 (lomeríos medianamente escarpados con cerros y cañadas escarpados), la 4 (lomeríos ligeramente escarpados) y la 31 (valle intramontano), tal como se demuestra en la tabla 9:

Tabla 9. Mínimos y máximos del factor R por unidad fisiográfica

Factor R					
Unidad Fisiográfica	Mínimo	Máximo	Unidad Fisiográfica	Mínimo	Máximo
1	267.18	502	20	196.92	342.46
2	235.66	253	21	396.93	520.94
3	223.3	251.12	22	267.76	586.78
4	109	200.59	23	328	437.11
5	209.52	315.78	24	246.11	297.98
6	233.35	310.75	25	241.31	352.22
7	340.25	419.34	26	190.24	234.21
8	102	459.71	27	223	296
9	230.97	246.76	28	202.4	293.24
10	221.64	429	29	232.5	281.82
11	214.53	293.62	30	225.82	263.98
12	189.66	241.35	31	134.15	279.68
13	265.85	321.21	32	282.2	352.6
14	205.75	558.07	33	330.75	538.44
15	283.8	387.15	34	200.7	294
16	313.34	477.29	35	209.32	232
17	281	306.86	36	232.56	284
18	142.8	234.14	37	249.62	324.59
19	268.12	306.15			

El tipo de unidades fisiográficas que presentaron menor variabilidad entre su mismo tipo geomorfológico fueron los valles. De igual manera, las unidades fisiográficas con mayor variabilidad fueron los lomeríos y los piedemontes. En

promedio, la altiplanicie y las serranías presentaron las lluvias más erosivas, mientras que los cerros y piedemontes presentaron las lluvias menos erosivas, tal como se detalla en la gráfica 1:



Gráfica 1. Comportamiento promedio de los máximos y mínimos del Factor R por tipo de unidad fisiográfica

6.2 Factor K

Los valores del Factor K en la Sub-cuenca de Sayula se distribuyeron heterogéneamente. En cuanto a la erodabilidad del suelo, la ilustración 8 demuestra la distribución espacial del factor K:

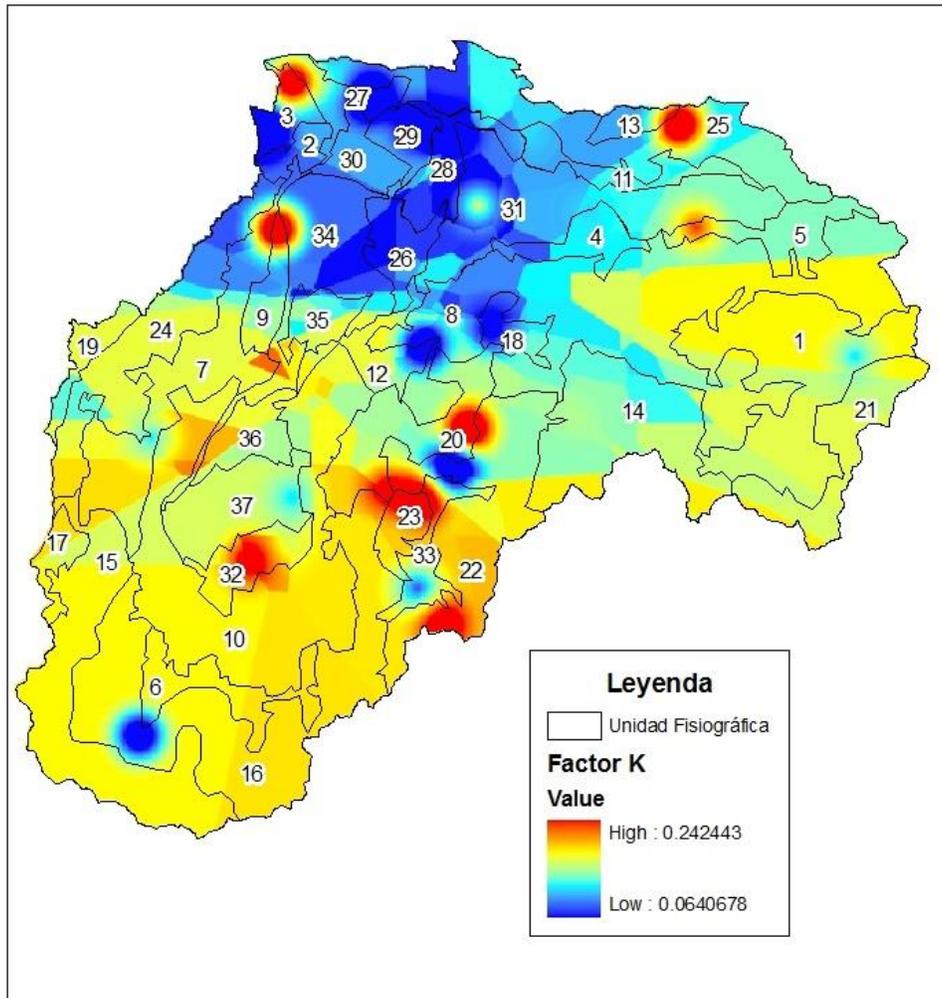


Ilustración 8. Distribución del Factor K por cada unidad fisiográfica

Los suelos menos erodables se presentaron en la porción norte de la cuenca, con excepción la unidad fisiográfica 25 con suelos tipo Cambisol y Vertisol que resultó tener un valor hasta 0.2329; la unidad fisiográfica 3 con suelos tipo Acrisol y Vertisol obtuvo un valor de hasta 0.2235; y la unidad fisiográfica 9 con suelos tipo Cambisol, Arenosol y Solonchak presentó un valor que asciende hasta 0.2424.

Así mismo, los suelos de la porción sur de la Sub-cuenca de Sayula demostraron mayor homogeneidad en cuanto a la erodabilidad de suelo, con excepción a la unidad fisiográfica 16 con suelos tipo Alfisol que presentó un factor K tan bajo como 0.0874.

Los suelos de las unidades fisiográficas que presentaron mayor susceptibilidad a ser erosionadas fueron la 9 (piedemonte ligeramente escarpado) con un valor hasta 0.242443, la 20 (sierra medianamente escarpada) con un valor hasta 0.235247, la 25 (sierra medianamente escarpada con paredones y terrazas) con una valor hasta 0.232978 y la 3 (cerros medianamente escarpados con valles intramontanos) con un valor hasta 0.223569.

De la misma manera, la unidad fisiográfica 3 también presentó el tipo de suelo con menor erodabilidad con valores hasta 0.064067.

La tabla 10 describe detalladamente los valores máximos y mínimos de la erodabilidad del suelo que resultaron de cada unidad fisiográfica:

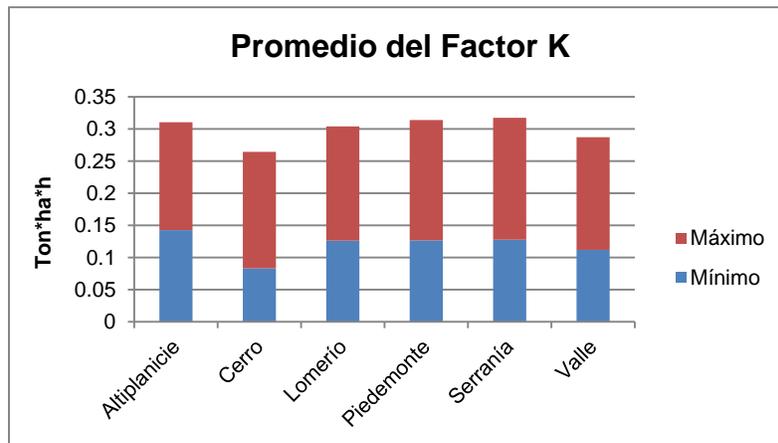
Tabla 10. Mínimos y máximos del Factor K por unidad fisiográfica

Factor K					
Unidad Fisiográfica	Mínimo	Máximo	Unidad Fisiográfica	Mínimo	Máximo
1	0.142448	0.167911	20	0.101134	0.235247
2	0.102532	0.138088	21	0.152434	0.168542
3	0.064067	0.223569	22	0.078244	0.216371
4	0.128951	0.145988	23	0.14565	0.225322
5	0.151098	0.189377	24	0.149242	0.164139
6	0.144252	0.213565	25	0.098316	0.232978
7	0.113171	0.170156	26	0.115101	0.144019
8	0.09394	0.167911	27	0.07685	0.206262
9	0.134404	0.242443	28	0.084231	0.146936
10	0.151092	0.191836	29	0.084118	0.137788
11	0.137305	0.14618	30	0.093452	0.137788
12	0.084456	0.168154	31	0.094393	0.179732
13	0.137035	0.203389	32	0.156622	0.207035
14	0.143742	0.168542	33	0.101905	0.208089
15	0.148948	0.170803	34	0.117256	0.209202

Factor K					
Unidad Fisiográfica	Mínimo	Máximo	Unidad Fisiográfica	Mínimo	Máximo
16	0.087451	0.194586	35	0.122766	0.171862
17	0.161307	0.170803	36	0.155511	0.180222
18	0.109098	0.149214	37	0.141768	0.172999
19	0.148316	0.164139			

El comportamiento de las unidades fisiográficas en cuanto a la erodabilidad del suelo resultó heterogéneo, con la excepción de las unidades 28-31, mismas que mostraron valores similares, al ser los valles los sitios de depósito de los minerales arrastrados por la precipitación pluvial y al tener suelos en su mayoría de tipo Solonchak. La heterogeneidad en la erodabilidad de los suelos por unidad fisiográfica resultó ser efecto de la distribución irregular de los tipos de suelos.

El promedio del comportamiento de la erodabilidad del suelo por unidad fisiográfica muestra que las serranías contienen los tipos de suelo más erodables, mientras que los cerros presentan los suelos menos susceptibles a ser erosionados, tal como se demuestra en la tabla 2.



Gráfica 2. Comportamiento promedio de los máximos y mínimos del Factor K por tipo de unidad fisiográfica

6.3 Factor LS

La distribución espacial del factor de la longitud y magnitud de la pendiente se describe en la ilustración 9. Las serranías, lomeríos y altiplanicies obtuvieron los valores más altos, mientras que los valles obtuvieron los valores más bajos, tal como se detalla consiguientemente:

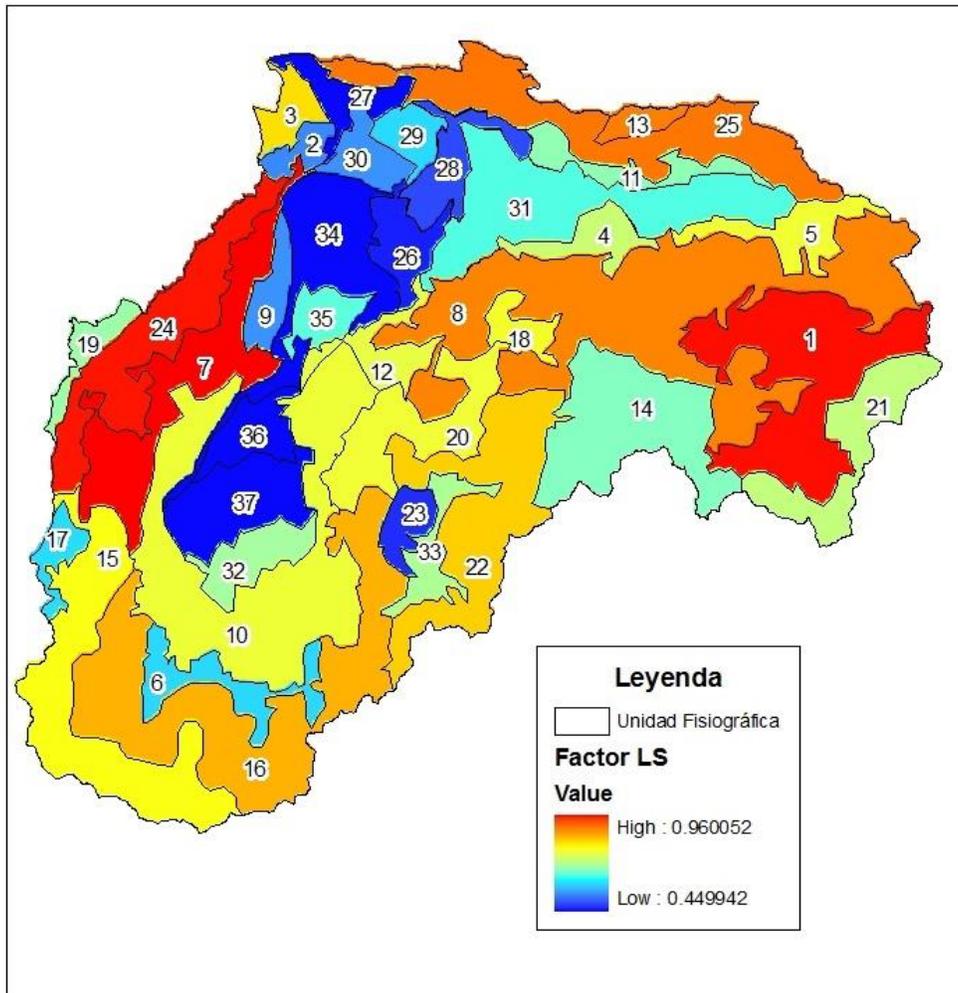


Ilustración 9. Distribución del Factor LS por unidad fisiográfica

Las unidades fisiográficas que presentaron las pendientes más largas y más pronunciadas fueron la 7 (lomeríos medianamente escarpados), la 1 (altiplanicie ligeramente escarpada) y la 24 (sierra medianamente escarpada con paredones), con valores de 0.960052, 0.957131 y 0.955598 respectivamente.

Igualmente, las unidades fisiográficas con los valores más bajos fueron la 27 (valle con colinas), la 36 (valle intramontano inundable) y la 34 (valle intramontano inundable), representados con 0.449942, 0.45651 y 0.476546 respectivamente.

La tabla 11 describe los valores que se obtuvieron del factor LS por cada unidad fisiográfica:

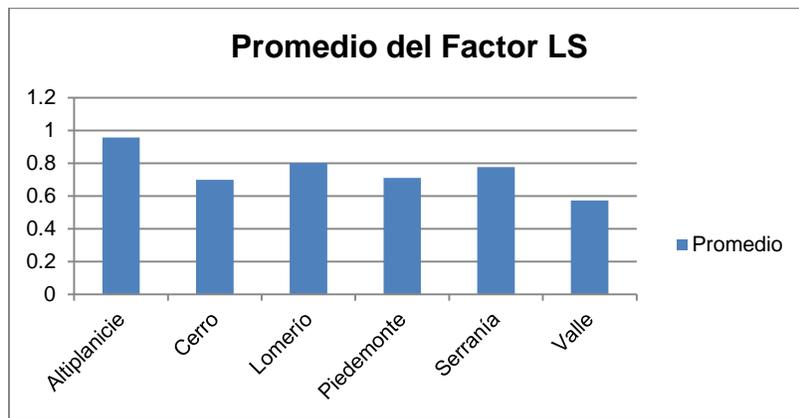
Tabla 11. Valor del factor LS por unidad fisiográfica

Factor LS			
Unidad Fisiográfica	Valor	Unidad Fisiográfica	Valor
1	0.957131	20	0.786418
2	0.57446	21	0.73778
3	0.823881	22	0.839012
4	0.74556	23	0.512506
5	0.787854	24	0.900074
6	0.622939	25	0.900074
7	0.960052	26	0.503952
8	0.892855	27	0.449942
9	0.582441	28	0.530128
10	0.784944	29	0.625408
11	0.699722	30	0.581882
12	0.777082	31	0.665886
13	0.895558	32	0.714865
14	0.69039	33	0.720206
15	0.800398	34	0.476546
16	0.859754	35	0.671742
17	0.62821	36	0.45651
18	0.792103	37	0.477281
19	0.70497		

El comportamiento de las unidades fisiográficas en cuanto a su valor para el Factor LS resultó variar más en los lomeríos y en las serranías entre cada unidad fisiográfica del mismo tipo. Así mismo, las unidades fisiográficas que presentaron mayor variación entre las unidades del mismo tipo fueron la 23 (Sierra medianamente escarpada) y la 24 (Sierra medianamente escarpada con

paredones). Los valles presentaron la menor variación entre cada unidad homóloga.

El promedio del factor LS por unidad fisiográfica muestra que la altiplanicie es la unidad fisiográfica con el valor más alto, mientras que el valle muestra tener el valor más bajo. La gráfica 3 muestra el comportamiento promedio del factor LS por unidad fisiográfica:



Gráfica 3. Comportamiento promedio del valor del factor LS por unidad fisiográfica

6.4 Factor C

La densidad de la cobertura vegetal se presentó dentro de tres rangos aparentes, dependiendo de la geoforma de la unidad fisiográfica. La primera conformada por serranías y cerros con bosques de pinos, encinares y bosques tropicales caducifolios, mismos que presentaron la cobertura vegetal más densa; la segunda conformada por altiplanicies, lomeríos y piedemontes con pastizales, tierras de cultivo y que a su vez, presentaron una cobertura vegetal más degradada; y la última que se conformó por valles, cubiertos por pastizales y bosques espinosos y que resultaron tener los suelos más desprotegidos. La ilustración 10 detalla la distribución de la protección que proporciona la cobertura vegetal:

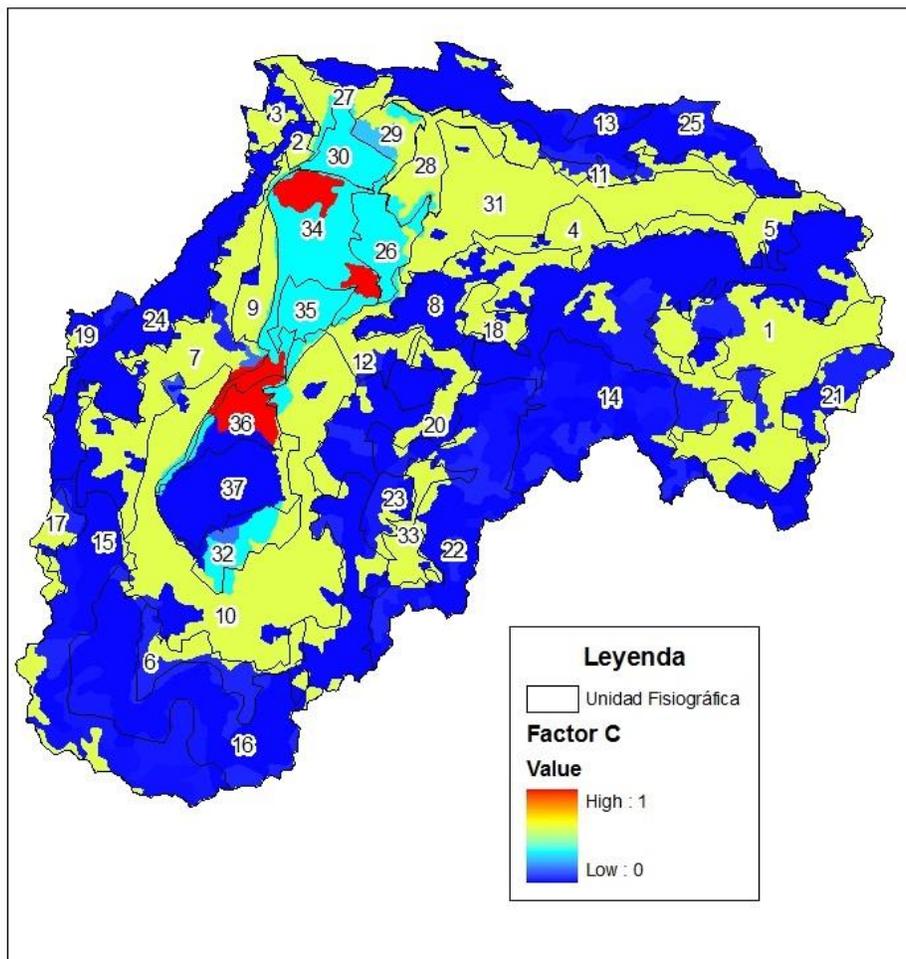


Ilustración 10. Distribución del Factor C por unidad fisiográfica

Las unidades fisiográficas que presentaron los valores más altos para el factor C fueron la 10, 12, 26, 30, 34, 35 y 36, alcanzando el máximo posible y que representa un suelo completamente desprotegido ante la erosión hídrica.

Así mismo, las unidades fisiográficas que presentaron el menor índice en cuanto al factor C fueron la 4,5, 9, 10, 12, de la 31 a la 34, la 36 y la 37.

Las unidades fisiográficas en las que coincidieron tanto el valor máximo como el mínimo posible se explican por la presencia de zonas urbanas en donde la erosión hídrica es nula. La tabla 12 detalla los máximos y mínimos obtenidos por unidad fisiográfica:

Tabla 12. Mínimos y máximos del Factor C por unidad fisiográfica

Unidad Fisiográfica	Mínimo	Máximo	Unidad Fisiográfica	Mínimo	Máximo
1	0	0.3	20	0.0017	0.3
2	0.0017	0.3	21	0.001	0.3
3	0.0017	0.3	22	0.001	0.015
4	0	0.3	23	0.0017	0.3
5	0	0.3	24	0.0017	0.3
6	0.0017	0.3	25	0.0017	0.3
7	0.0017	0.3	26	0.17	1
8	0.0017	0.3	27	0.0017	0.3
9	0	0.3	28	0.0017	0.3
10	0	1	29	0.13035	0.3
11	0.0017	0.3	30	0.13035	1
12	0	1	31	0	0.3
13	0.0017	0.0094	32	0	0.3
14	0.001	0.3	33	0	0.3
15	0.0017	0.3	34	0	1
16	0.0017	0.3	35	0.17	1
17	0.0024	0.3	36	0	1
18	0.0017	0.3	37	0	0.3
19	0.001	0.3			

El comportamiento del factor C por unidad fisiográfica fue aparentemente homogéneo y con poca variación entre valores máximos y mínimos, con excepción

a las unidades 10, 12, 26, 30, 34, 35 y 36. El caso de las unidades 10, 12, 34 y 36 se explica por la presencia de las zonas urbanas y las zonas perturbadas aledañas a éstas, sin embargo, la 26, 30 y 35 se explica por la heterogeneidad de la cobertura vegetal debido a la influencia del gradiente altitudinal.

6.5 Erosión Actual

El valor máximo de erosión actual constituyó 41.21 ton* ha* año y el mínimo fue de 0. El análisis realizado demostró que dentro de la Sub-cuenca de Sayula existe mayor pérdida de suelo en la porción sur de la cuenca, conforme al patrón del factor C observado anteriormente, debido a una mayor degradación de la cobertura vegetal en esta zona. Esto también explicó la pérdida de suelo que presentó la altiplanicie. Los altos índices de erosión actual en el vaso de la laguna de Sayula conformado por los unidades fisiográficas de los valles se podrían explicar debido a que la RUSLE sobre estima la erosión en superficies planas. A pesar de las fuertes pendientes de las serranías, no todas presentaron altos índices de erosión debido de a la densidad de la cobertura vegetal. La ilustración 11 detalla la distribución espacial de la erosión actual:

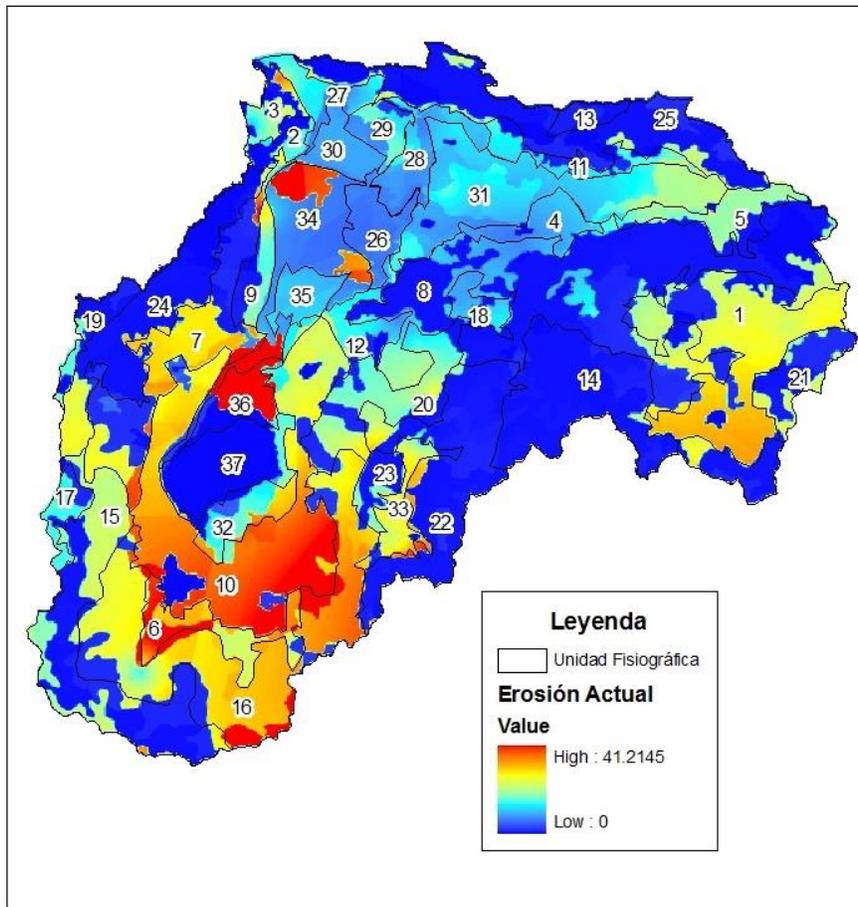


Ilustración 11. Distribución erosión actual por unidad fisiográfica

Las unidades fisiográficas que presentaron mayor erosión actual fueron la 6 (lomeríos medianamente escarpados), la 16 (sierra fuertemente escarpada) y la 34 (valle intramontano inundable). Las unidades fisiográficas con zonas urbanas presentaron una pérdida de suelo nula. Las unidades con mayor variación entre máximos y mínimos fueron la 6, la 16 y la 34.

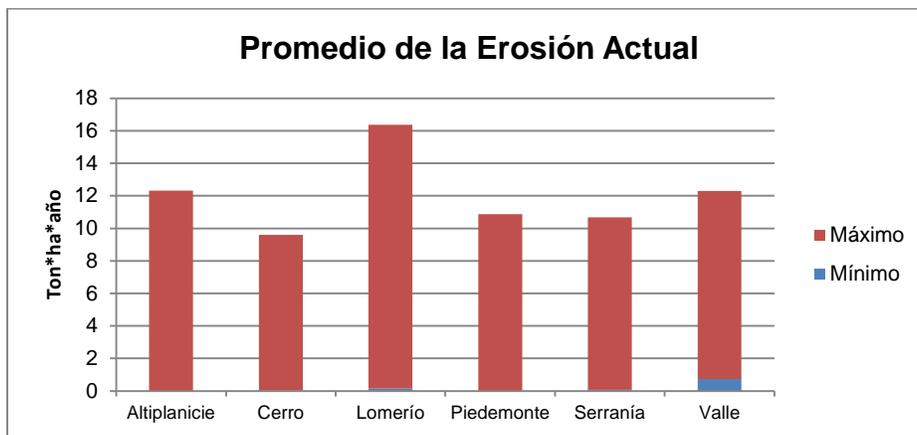
En la tabla 13, se describen los valores máximos y mínimos que resultaron en cada unidad fisiográfica:

Tabla 13. Mínimos y máximos de erosión actual por unidad fisiográfica

Erosión Actual					
Unidad Fisiográfica	Mínimo	Máximo	Unidad Fisiográfica	Mínimo	Máximo
1	0	12.321288	20	0.080852	9.980223
2	0.028222	5.97146	21	0.144085	10.410049
3	0.02306	13.181037	22	0.0695	15.449858
4	0	5.509384	23	0.058643	6.950914
5	0	9.333577	24	0.053782	12.158934
6	0.623497	41.2145	25	0.054366	10.964984
7	0.06553	14.628928	26	2.078584	14.482731
8	0.041664	10.417912	27	0.027417	6.440115
9	0	10.286894	28	0.586788	5.665609
10	0	18.567347	29	0.663882	6.331894
11	0.04486	8.177215	30	2.422611	3.411102
12	0	6.424164	31	0	7.866963
13	0.056262	0.400134	32	0	13.088091
14	0.076967	8.233397	33	0.044669	12.746046
15	0.067903	20.967962	34	0	21.684044
16	0.082854	24.47135	35	2.955966	20.266325
17	0.121537	6.456411	36	0	21.273493
18	0.068299	5.229516	37	0	5.646872
19	0.052998	6.251452			

Las unidades fisiográficas que presentaron mayor erosión fueron los cerros y los valles, seguidos por las serranías. Las unidades con mayor variación entre su mismo tipo fueron las serranías.

La gráfica 4 describe el comportamiento promedio de los valores máximos y mínimos de erosión actual por unidad fisiográfica:



Gráfica 4. Comportamiento promedio de los mínimos y máximos de erosión actual por unidad fisiográfica

6.6 Erosión Potencial

La erosión potencial, considerada en función de un suelo desnudo sin prácticas de conservación, siguió un patrón similar a los resultados del factor R con algunas ligeras variaciones debido a la influencia del relieve y del tipo de suelo. Los sitios que presentaron una mayor erosión potencial se explican principalmente debido a la erosividad de la lluvia y a que representan las unidades fisiográficas con pendientes de mayor magnitud; siendo el caso contrario de los sitios con menor pérdida de suelo, causado por un relieve plano y con precipitaciones menos erosivas.

La ilustración 12 muestra la distribución de la erosión potencial a través de la Subcuenca de Sayula:

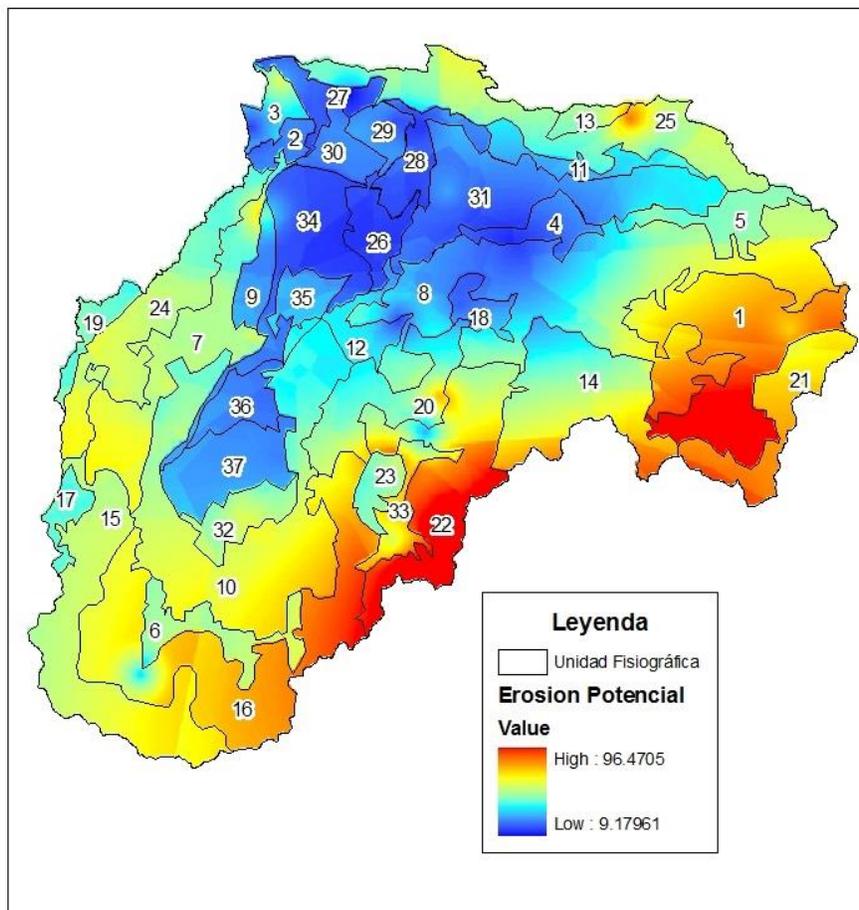


Ilustración 12. Distribución de la erosión potencial por unidad fisiográfica

Las unidades fisiográficas que presentaron mayor erosión potencial fueron la 22 (sierra medianamente escarpada), la 33 (valle intramontano con manto freático elevado) y la 1 (altiplanicie ligeramente escarpada), mientras que las que presentaron menor erosión fueron la 27 (valle con colinas), la 31 (valle intramontano) y la 4 (lomeríos ligeramente escarpados).

La tabla 14 detalla los valores máximos y mínimos de erosión potencial que resultaron por cada unidad fisiográfica:

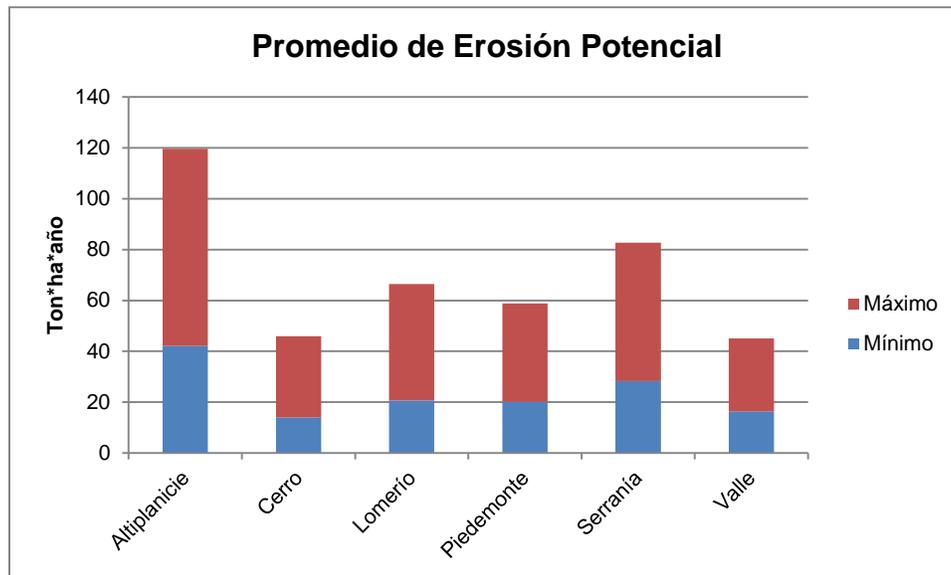
Tabla 14. Mínimos y máximos de la erosión potencial por unidad fisiográfica

Erosión Potencial					
Unidad Fisiográfica	Mínimo	Máximo	Unidad Fisiográfica	Mínimo	Máximo
1	42.199871	77.378265	20	18.960594	55.273968
2	14.768766	19.989756	21	44.83287	65.123207
3	13.295141	43.744385	22	22.173801	96.470501
4	10.832167	22.059042	23	32.623734	41.464054
5	22.059042	47.455238	24	31.887077	52.012814
6	25.161226	44.482586	25	23.938643	60.836208
7	31.86335	48.979797	26	11.931763	16.228916
8	13.696098	65.664291	27	9.362745	22.164875
9	18.407999	34.434864	28	12.695756	18.817297
10	27.406013	57.359928	29	14.496533	21.76199
11	21.291117	30.180191	30	14.162961	20.183201
12	13.659283	32.267979	31	11.865159	29.140417
13	32.569386	54.593994	32	31.674582	44.978931
14	20.3904	64.122803	33	25.497555	71.079254
15	38.57148	52.244854	34	11.725509	23.551481
16	26.375189	70.020569	35	17.387768	26.719055
17	30.176723	32.869148	36	17.295483	22.937962
18	14.886136	27.86989	37	18.515331	26.033796
19	30.455133	34.976788			

El comportamiento de la erosión por unidad fisiográfica varió significativamente entre cada tipo de unidad, con excepción a los valles debido a la uniformidad en su relieve. Así mismo, dentro de las unidades de valles, la unidad 33 resultó

anómala entre sus homólogas en virtud a que funge como base de una serranía altamente escarpada.

La gráfica 5 muestra el promedio de los valores máximos y mínimos de erosión potencial por cada unidad fisiográfica:



Gráfica 5. Comportamiento promedio de los mínimos y máximos de la erosión potencial por unidad fisiográfica

7.0 Discusión

7.1 Estudio realizado por la SEMARNAT

La ilustración 13 muestra la distribución de la pérdida de suelo según una estimación realizada por la SEMARNAT en el 2002 con una escala de trabajo 1:1,000,000 en donde existen zonas con pérdidas de suelo superior a los 200 T*Ha*Año, principalmente en las serranías occidentales y la altiplanicie. Los valles intramontanos son los sitios con menor erosión, a pesar de la ausencia de una cobertura vegetal en los sitios cercanos a la laguna salina de Sayula.

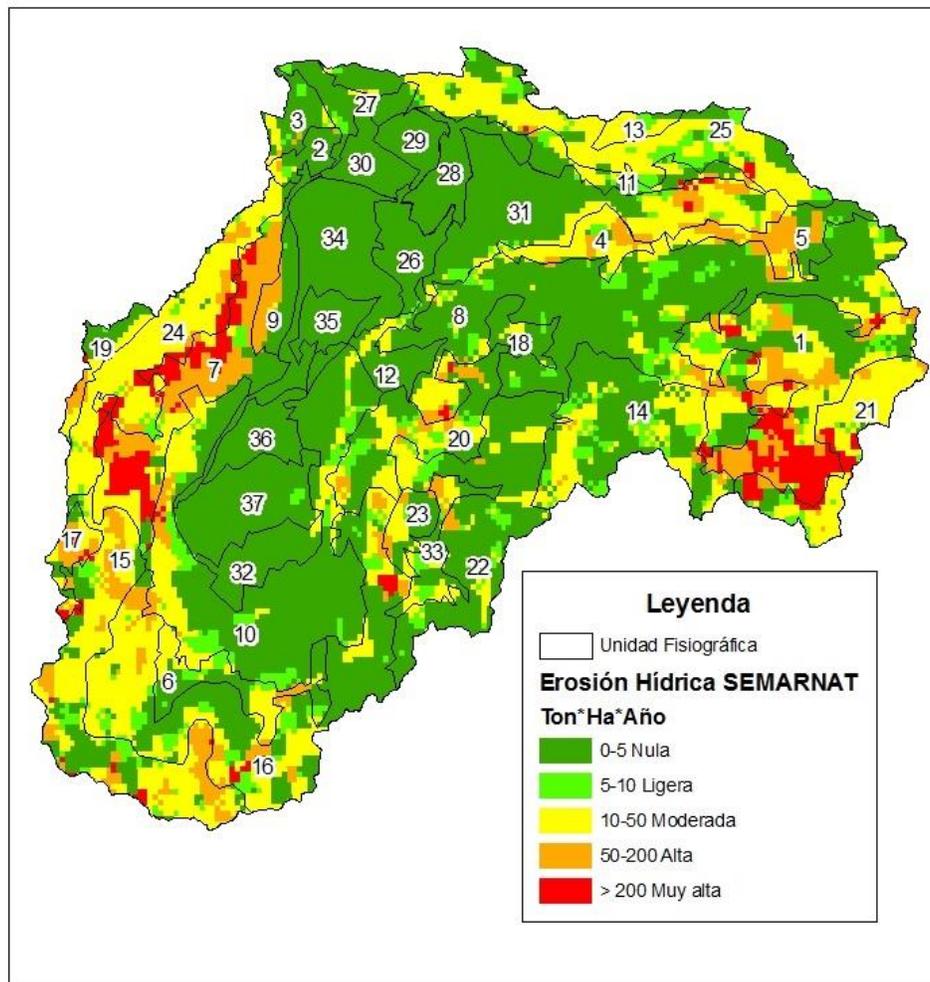


Ilustración 13. Distribución de la erosión actual en la Sub-cuenca de Sayula (SEMARNAT, 2001-2002)

7.2 Estudio realizado por la CONAFOR – Universidad Autónoma de Chapingo

El escenario de la pérdida de suelo construido a partir de las estimaciones de la UACH y la CONAFOR en 2014 con una escala de trabajo 1:250,000, presenta sitios con pérdida de suelo superior a la a las 200 Ton* Ha* Año en diversos puntos de la cuenca, distribuidos principalmente a lo largo de las serranías escarpadas con vegetación degradada. La mayor parte de la superficie de la cuenca tiene pérdidas de suelo entre nula y moderada. Esta estimación demuestra resultados menos severos en comparación con la estimación realizada por SEMARNAT 2002.

En la ilustración 14 se muestra la distribución espacial de las tasas de erosión actual dentro de la Sub-cuenca de Sayula:

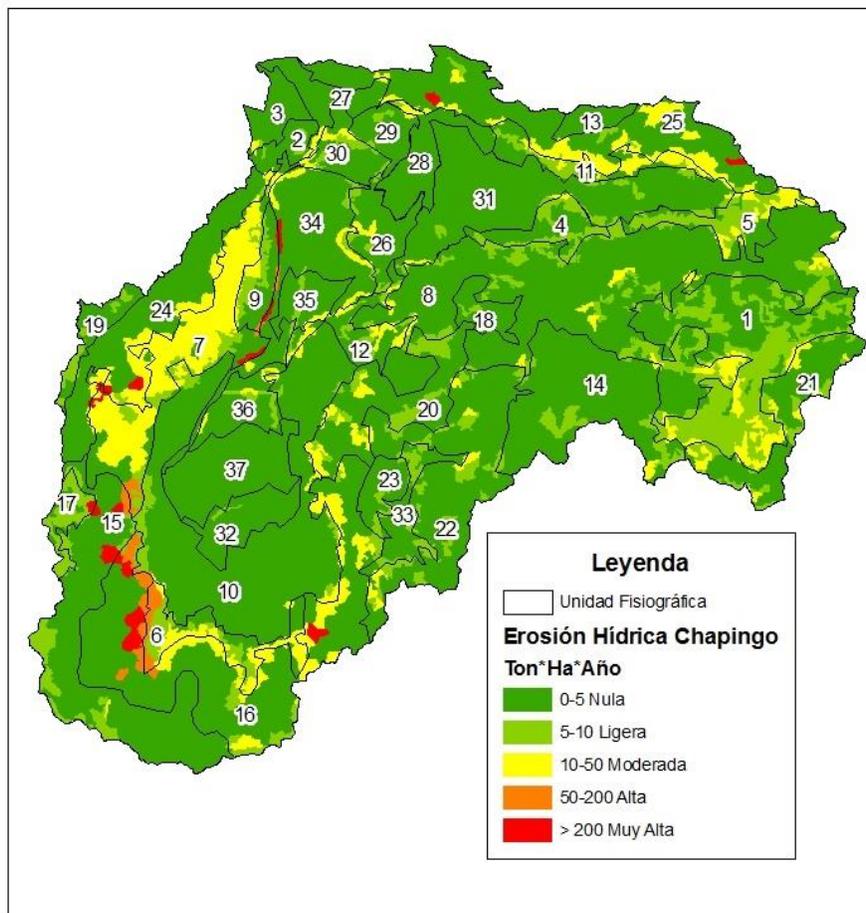


Ilustración 14. Distribución de la erosión actual en la Sub-cuenca de Sayula (UACH - CONAFOR, 2014)

7.3 Estimación de la erosión actual en el presente estudio

La estimación de la erosión actual según la magnitud de la degradación por pérdida de suelo realizada con el motivo de la tesis con una escala de trabajo 1:50,000 (ilustración 15) demostró que los sitios con mayor pérdida de suelo se presentan principalmente en las serranías y cerros de la porción sur de la Sub-cuenca, así como la altiplanicie y el sitio desprovisto de vegetación de la laguna salina. Así mismo, los índices de erosión actual no superaron la categoría de moderado, y gran parte de la Sub-cuenca presentó pérdidas de suelo ligeros o nulas.

En la ilustración 15 se muestra la distribución espacial de las tasas de erosión actual dentro de la Sub-cuenca de Sayula:

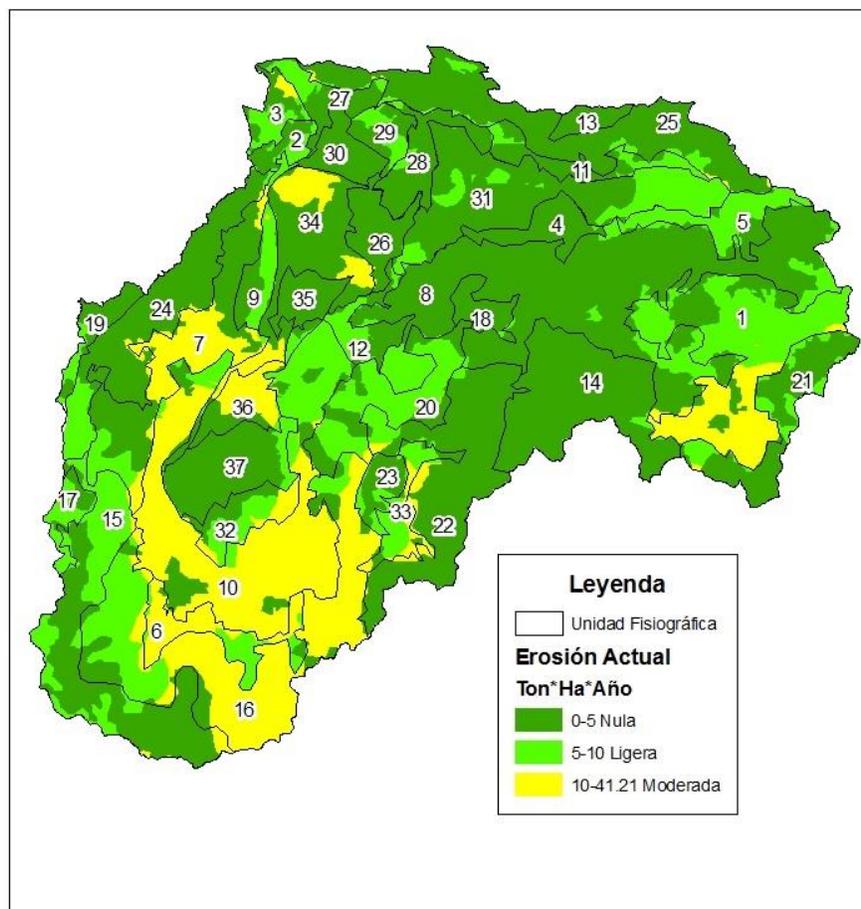


Ilustración 15. Distribución de la erosión actual en la Sub-cuenca de Sayula (estudio de tesis, 2015)

7.4 Estimación de la erosión potencial en el presente estudio

En cuanto al escenario de pérdida de suelo potencial (ilustración 16) la mayor parte de la Sub-cuenca presentó índices de erosión moderada. Los sitios que presentaron erosión potencial alta son aquellos en donde el poder erosivo de la precipitación pluvial era mayor y donde las pendientes tenían mayor magnitud.

En la ilustración 16 se muestra la distribución espacial de las tasas de erosión potencial dentro de la Sub-cuenca de Sayula:

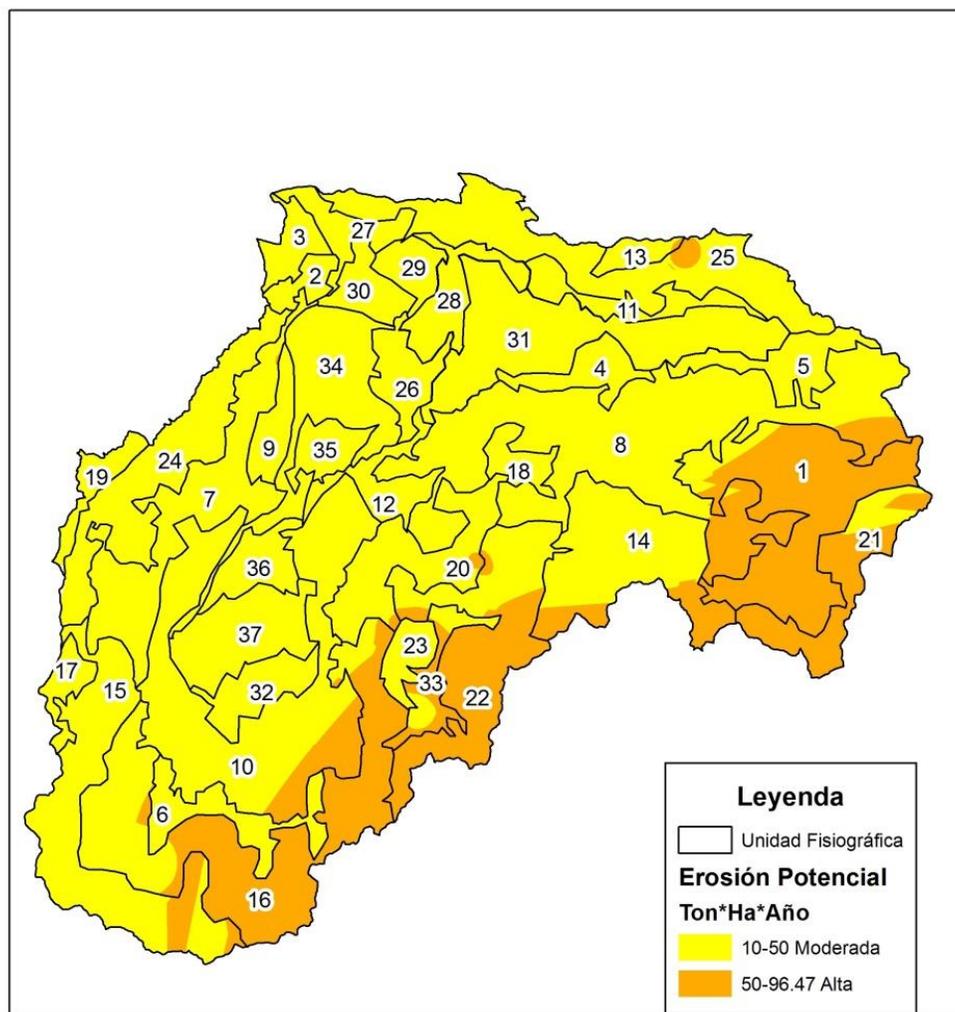


Ilustración 16. Distribución de la erosión potencial en la Sub-cuenca de Sayula (estudio de tesis, 2015)

7.5 Análisis Comparativo

El estudio que demuestra que en la Sub-cuenca de Sayula existe mayor superficie con erosión muy alta es el de la SEMARNAT 2002, seguido por UACH-CONAFOR 2014. El que demuestra tener una mayor superficie con erosión hídrica nula es el UACH-CONAFOR 2014. Los resultados del estudio actual presentaron una superficie menor con degradación nula.

La comparación en superficie por categoría de la magnitud de la erosión hídrica se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Análisis comparativo de superficie afectada por erosión hídrica

Grado de erosión	Ton*ha*año	Semarnat 2001-2002		UACH-CONAFOR 2014		Erosión actual		Erosión potencial	
		Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%
Nulo	0-5	78657.63	53.31	110131.33	74.64	87130.42	59.05	0	0
Ligero	5-10	10461.89	7.09	20212.20	13.70	33216.29	22.51	0	0
Moderado	10-50	39759	26.94	14935.91	10.12	27210.57	18.44	116787.71	79.15
Alto	50-200	13153.24	8.91	1076.19	0.73	0	0	30769.58	20.85
Muy alto	> 200	5525.72	3.74	1201.66	0.81	0	0	0	0

Debido a que el método RUSLE es una estimación que indica cierto grado de degradación del suelo y no un valor absoluto de la pérdida real del suelo, (CONAFOR-UACH, 2013), y en virtud a que la escala de trabajo es significativamente distinta entre las estimaciones realizadas, se presentaron variaciones en los resultados.

Otro factor que puede influir en la variación de los resultados es la información obtenida de la cobertura vegetal, así como los cambios en la degradación en la misma a través del tiempo.

8.0 Propuesta de Obras y Prácticas de Conservación y Restauración de Suelos

Para la mitigación de la pérdida de suelo y la las consecuencias derivadas de ésta, se propone la realización de obras y prácticas de conservación de suelo y agua.

Debido a que las unidades fisiográficas 26, 30, 32, 34, 35, 36 y 37 forman parte del vaso de la laguna salina de Sayula y derivado de la importancia ecosistémica y cultural que ésta tiene así como la condición endorreica de la Sub-cuenca, no se recomienda intervenir con obras de conservación y restauración de suelos.

En las unidades fisiográficas 27, 28, 29, 31 y 33, debido a que representan valles con cultivos de temporal y de riego que presentan tasas de erosión entre nula y moderada, se recomienda la construcción de presas de piedra acomodada y de gavión en los sitios en donde existan cárcavas; así mismo, en los predios donde se practica la agricultura de temporal, se recomienda el establecimiento de terrazas agrícolas de formación sucesiva con surcado al contorno.

Se recomienda en la serranía de la unidad fisiográfica 17 con tasas de erosión oscilantes entre nula y ligera, la construcción de presas de gavión y presas de piedra acomodada en los sitios en donde existan cárcavas; así mismo, en los predios donde se practica la agricultura de temporal, se recomienda el establecimiento de terrazas agrícolas de formación sucesiva con surcado al contorno para frenar los escurrimientos que provocan la erosión laminar. En los sitios donde el uso de suelo corresponde a pastizales, se recomienda la reconversión a uso forestal, considerando la plantación de especies de coníferas.

En las unidades fisiográficas 13, 14, 15, 19, 21, 22 y 23, mismas que representan serranías con bosque de pino y encino con niveles varios de degradación y con tasas de erosión entre nulas y moderadas, se recomienda la construcción de presas de morillos en sitios con erosión en cárcavas; así mismo, para la retención de sedimentos en la ladera, se recomienda la realización de barreras de piedra a curva de nivel y acomodo de material muerto a curva de nivel. Así mismo, se

recomienda que las respectivas obras se acompañen con la plantación de especies de coníferas nativas de la Sub-cuenca en las unidades fisiográficas 13, 15, 21, 22 y 23.

De la misma manera, en las unidades fisiográficas 18, 20, 24 y 25, de las cuales se conforman por serranías cubiertas en su mayoría con bosque tropical caducifolio con niveles varios de degradación vegetal y tasas de erosión hídrica entre nulos y ligeros, se recomienda la práctica de enriquecimiento de acahuales con especies nativas de la cuenca y propias del tipo de vegetación. Para la unidad fisiográfica 16, que presenta bosque tropical caducifolio con niveles varios de degradación y pérdidas de suelo moderadas, se recomienda la construcción de barreras de piedra a curva de nivel y/o acomodo de material vegetativo muerto a curva de nivel, dependiendo del material disponible en el área, acompañado de la reforestación con especies nativas de la cuenca.

En cuanto a las unidades fisiográficas 9, 11 y 12 conformadas por piedemontes y cubiertas en su mayoría por pastizales y terrenos de agricultura temporal y con tasas de erosión ligera, se recomienda el establecimiento de terrazas agrícolas de formación sucesiva con surcado al contorno para frenar los escurrimientos que provocan la erosión laminar. Así mismo, en la unidad fisiográfica 10 con tasas de erosión moderada, se recomiendan las mismas obras y la regulación de las actividades pecuarias que degradan la cobertura vegetal.

En las unidades fisiográficas 4 y 5, conformadas por lomeríos y cubiertas por pastizales y agricultura de temporal cuyos suelos presentan erosión hídrica ligera, se recomienda el establecimiento de terrazas agrícolas de formación sucesiva con surcado al contorno para frenar los escurrimientos que provocan la erosión laminar. Así mismo, en las unidades fisiográficas 6 y 7, conformadas por lomeríos y cubiertas por pastizales y agricultura de temporal y con erosión hídrica moderada se recomienda el establecimiento de terrazas agrícolas de formación sucesiva con surcado al contorno para frenar los escurrimientos que provocan la erosión laminar. En cuanto a la unidad fisiográfica 8, conformada por lomeríos

cubiertos en su mayoría por bosque tropical caducifolio con niveles varios de degradación vegetal y con erosión hídrica ligera y nula, se recomienda la práctica de enriquecimiento de acahuales.

En cuanto a las unidades fisiográficas 2 y 3 conformadas por cerros cubiertos en su mayoría por pastizales y terrenos de agricultura de temporal y con tasas de erosión que varían de ligera a moderada, se recomienda el establecimiento de terrazas agrícolas de formación sucesiva con surcado al contorno para frenar los escurrimientos que provocan la erosión laminar. En las zonas con bosque tropical caducifolio, se recomienda el establecimiento de barreras de piedra acomodadas a curva de nivel y el acomodo de material vegetativo muerto.

Para la unidad fisiográfica 1, conformada por una altiplanicie con agricultura de temporal y agricultura de riego, la cual presenta tasas de erosión que oscilan entre ligero y moderado, se recomienda práctica de terrazas de formación sucesiva con surcado al contorno.

9.0 Conclusiones

Se estimó la erosión hídrica actual y potencial de la Sub-cuenca de Sayula. Los valores de la erosión actual se presentaron en un rango de 0 a 46.21 ton*ha*año, y su distribución por extensión territorial según la magnitud de la degradación por pérdida de suelo fue de 59.05 % nula, 22.51 % ligera y 18.44 % moderada. Así mismo, la erosión potencial obtuvo rangos de 9.17 a 96.47 ton*ha*año, teniendo una distribución territorial según la magnitud de la degradación por pérdida de suelo de 79.15 % moderada y 20.85 % alta.

Las siguientes unidades fisiográficas dentro de la Sub-cuenca de Sayula presentan tasas de erosión que requieren atención inmediata para la realización de las obras y prácticas de conservación de suelos: 1, 2, 3, 6, 7, 10, 16, 34, 33, 36.

En alcance a lo anterior, para aminorar la magnitud de los procesos erosivos presentes en la Sub-cuenca de Sayula, se recomendó la construcción de obras de restauración y conservación de suelos. Debido a que la mejor manera de evitar la degradación de los suelos por erosión hídrica es la conservación de la cobertura vegetal, se recomendó que las obras de restauración y conservación de suelos sean acompañadas con reforestaciones de planta nativa y propia del tipo de vegetación presente en la Sub-cuenca.

Para tener una idea más clara de la degradación de los suelos por factores físicos en el área de estudio, es necesaria la estimación de la erosión eólica.

Literatura Citada

- A. Adediji, A.M. Tukur and K.A. Adepoju (2010). Assessment of Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in Katsina Area, Katsina State of Nigeria using Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS). *Iranica Journal of Energy and Environment*, 1 (3): 255-264.
- Bell P, & Wright D,. 1987. Rocas y Minerales. Barcelona: Omega
- Carlos A. Bonilla, José L. Reyes & Antoni Magri (2010). Water Erosion Prediction Using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in GIS Framework, Central Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70 (1): 159-169.
- Cléricsi, C., & García, P. (2001). Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del Río de la Plata. *Agrociencia*, V (1): 92-103.
- CONAFOR. (2014). *Sexto Informe Nacional en Materia de Aplicación en México de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación*. Zapopan, Jalisco: CONAFOR.
- CONAFOR-UACH. (2013). *Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación. Informe final*. Zapopan, Jalisco: Comisión Nacional Forestal y Universidad Autónoma de Chapingo.
- Contreras-Rodríguez, S. H., Macías-Rodríguez, M. Á., Barba-Calvillo, G., González-Castro, S. I., & Ávila-Ramírez, B. O. (2013). *Guía de Pastos de la Cuenca de Sayula* (Primera ed.). Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Cuanalo de la C., H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelos en campo. 3ª Edición. Centro de Edafología. Colegio de Posgraduados. México
- Deviren Saygin, S., Ugur Ozcan, A., Basaran, M., Burhan Timur, O., Dolarslan, M., Ebru Yilman, F., & Erpul, G. (2014). The combined RUSLE/SDR approach integrated with GIS and geostatistics to estimate annual sediment flux rates in the semi-arid catchment, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 10 (1007): 1605-16018.

- Escobar, P. G. (2008). *Uso de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) en el Campo Forestal*. Chile: Universidad de Chile.
- FAO. (2007). *Land Degradation Assessment in Drylands*. Roma: FAO.
- FAO-PNUMA. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Roma: FAO.
- Flores López, Hugo Ernesto; Mario Martínez Menes, J. Luis Oropeza Mota, Enrique Mejía Saens, Rogelio Carrillo González (2003). Integración de la EUPS a un SIG para Estimar la Erosión Hídrica del Suelo en una Cuenca Hidrográfica de Tepatitlán, Jalisco, México. *Terra Latinoamericana*, 21(2): 233-243.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México D.F.: Instituto de Geografía-UNAM.
- García-Rodríguez, J. L. (1994). *Evaluación del Riesgo a la Degradación de la Tierra por Procesos Físicos en el Estado de Jalisco*. Chapingo: Universidad de Chapingo.
- Hernández-Morales, G. (2010). *Cálculo de la tasa de erosión hídrica y propuesta de obras de conservación de suelo en línea de tendido eléctrico La Ventosa – Juile, Oaxaca*. Oaxaca: Universidad Autónoma de Chapingo.
- INEGI. (2010). *CENSO*. Mexico.
- J. Porta, M. López - Acevedo, C. Roquero (2003). *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente*. Madrid: Mundi - Prensa.
- Juan Pulido & Gerardo Bocco. 2011. ¿Cómo se evalúa la Degradación de las Tierras? Panorama Global y Local. *Interciencia* 36 (2): 96-103.
- López-Santos, A., Santiago, M., & Gerardo, A. S. (2015). Analysis of Climate Change Impact by Modeling Hydric Erosion to Soils of Aguascalientes, México. En UNCCD, *Book of Abstracts* (págs. 27-28). Paris: UNCCD.

- Lozano-García, B., & Parras-Alcántara, L. (2011). Erosión actual y potencial en suelos ácidos en el sur de España. *Terra Latinoamericana*, 29(1): 35-46.
- Macías-Rodríguez, M. Á. (2004). *Vegetación y Flora de la Laguna de Sayula: Guía Ilustrada* (Primera ed.). CONABIO.
- Ministerio de Medio Ambiente. (1999). *Restauración Hidrológico Forestal de Cuencas y Control de la Erosión*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Moreno, A. B. (1999). *Escorrentía, Erosión y Conservación de Suelos*. Chapingo: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Morgan. (2009). *Soil Erosion and Conservation*. London, UK: Blackwell Publishing.
- Morgan, R. (1997). *Erosión y Conservación del Suelo*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Ortiz S., C. A. & H. E. Cuanalao de la C. 1984. Metodología del Levantamiento Fisiográfico: Un Sistema de Clasificación de Tierras. Colegio de Posgraduados. México.
- Pando-Moreno, Marisela; Gutiérrez Gutiérrez, Maritza; Maldonado Hernández, Alfonso; Palacio Prieto, José Luis; Estrada Castellón, A. Eduardo (2003). Comparación de métodos en la estimación de la erosión hídrica. *Boletín del Instituto de Geografía*, 1 (51): 23-36.
- Pérez-Nieto, S., Arellano-Monterrosas, J. L., Ibáñez-Castillo, L. A., & Hernández-Saucedo, F. R. (2012). Estimación de la erosión hídrica provocada por el Huracán Stan en las cuencas costeras de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, 30(2): 103-110.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. México: CONABIO.
- Sánchez, J. D. (2012). *Estimación del Factor de Erosividad de la Lluvia en Colombia*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Sánchez-Hernández, R., Mendoza-Palacios, J., De la Cruz-Reyes, J., Mendoza-Martínez, J., & Ramos-Reyes, R. (2013). Mapa de la erosión potencial en la cuenca hidrológica Grijalva-Usumacinta, México, mediante el uso de SIG. *Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo*, 29(2): 153-161.

- Tiago Santos Telles, María de Fátima Guimares, Sonia Carmela Falci Dechen (2011). *The Costs of Soil Eorsion*. Brasil: Revista Brasileira de Ciencia do Solo 35 (96): 287-298.
- SEMARNAT. (2001). *Evaluación de la pérdida de suelo por la erosión hídrica y eólica en al República Mexicana, escala 1:1,000,000 por estados*. Ciudad de México: SEMARNAT.
- SEMARNAT. (2001). *Evaluación de la pérdida del suelo por erosión hídrica y eólica en la cuenca Lerma-Chapala esc. 1:250,000*. Ciudad de México: SEMARNAT.
- SEMARNAT. (2003). Recuperado el 30 de Septiembre de 2013, de http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/resumen_2009/03_suelos/cap3_2.html
- SEMARNAT. (2009). Recuperado el 30 de Septiembre de 2013, de http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/resumen_2009/index.html
- SEMARNAT. (2009). *El Medio Ambiente en México en Resumen*. México D.F.: SEMARNAT. Recuperado el 30 de Septiembre de 2013, de [www.semart.gob.mx: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/resumen_2009/index.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/resumen_2009/index.html)
- Universidad de Guadalajara. (2009). *Plan de Manejo: Cuenca de Laguna de Sayula, Jalisco, México*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- University, M. S. (2002). *Rusle*. Recuperado el 11 de Octubre de 2013, de Rusle: <http://35.8.121.139/rusle/about.htm>