



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**CARTOGRAFÍA DE LA EROSIVIDAD DE LA
LLUVIA EN EL ESTADO DE QUERÉTARO, MÉXICO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A:

JOSUÉ CAMPOS PALACIOS



**DIRECTOR DE TESIS:
Dr. JOSÉ LUIS OROPEZA MOTA
2009**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**

A la **Facultad de Ciencias de la UNAM** por adoptarme durante estos años y enseñarme cómo alimentar el espíritu.

A mi tutor **José Luis Oropeza Mota**, por guiarme en este trabajo y por la manera tan amena de transmitir sus conocimientos.

A mis sinodales:

Dr. Rafael Huízar Álvarez

M. en C. Verónica Aguilar Zamora.

Biól. Gabriel Olalde Parra.

Dra. Amada Laura Reyes Ortigoza.

Por sus valiosos comentarios y correcciones, sin los cuales hubiera sido imposible, para mí, la realización de este trabajo.

Al Colegio de Postgraduados

A la Universidad Autónoma de Chapingo

Al Instituto de Geografía de la UNAM.

Por facilitarme las instalaciones, el equipo y el material cartográfico necesario para el desarrollo de esta tesis.

Dedicatorias.

Citando de alguna manera a Ortega Y Gasset, dedico con mucho cariño este trabajo a mí y a mis circunstancias...

A Vivianne, por los días de plumas y grevileas que caen sobre nuestro pecho hasta volverse plomo y sepultarnos. Y por nuestra diaria resurrección.

A Josue Gabriel y Leonardo, por recordarme todos los días que sigo vivo.

A mis padres: Felipe y Evelia, por su paciencia, confianza, por aquello de las desveladas y por traerme a pasear a este mundo.

Muy especialmente a Victor y Alfredo, mis hermanos.

A mis primos, primas, abuelitas, abuelitos, tías, tíos, que son, que han sido, que fueron.

A la banda de la facultosa: Dorian, Ulises, Fede, Hugo, Edgardo y a la tribu del pirúl. A la banda epiléptica: War, Sapo, Leo, el gorras, Philip, Becza, Daniela, Percas, mink, monk, el dedos, Manolete. Al barrio: Andrey, Hugo, Juanito, Erick, Charly, René, Fer, Edwin, Paola, los pachekids, Saúl, Temo, Gera, el escuadron, Dya, Cesar, Piña, Aguid, Aidé, Rashid, mi abue Vicky, mi abue Leoni, el otro Hugo, Josema, el callejón de los milagros, el tío Leonides y la mangana. A la banda Tj-Sd: compadre Elvis, Favi, Natalie, Inéz, Carlos, Mike, Sophia, Paty, Robert, la familia Rodriguez, don Peter, Aidé, Richard, Joaquín.

Al coro de los niños bienaventurados...

Al Dios de todo y de todos.

A mis cactus y a mi guitarra.

Terminar algo, después de haber llovido tanto, con la máquina de acertijos secándose en la marcha, después de los tulipanes, los pulpos, después de Quetzalcóatl, aún con amenazas de lluvias por la tarde, los cactus, la jacaranda, después del desierto y de la música que se oía a lo lejos.

Después de pasar lista, con la conducta relajada y a la acordada señal. Después de estar a un pie del precipicio, saltar aventuroide y haber caído sin querer sobre una nube...

JCP, 2009.

ÍNDICE

1.	Introducción.....	9
2.	Justificación.....	12
3.	Objetivos.....	13
3.1.	Objetivo General.....	13
3.2.	Objetivos Particulares.....	13
4.	Marco teórico.....	14
4.1	Erosión Hídrica.....	14
4.1.1	La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).....	15
4.1.2	El factor Lluvia.....	17
4.1.3	La erosividad de la lluvia.....	18
4.1.4	Índices de erosividad.....	19
4.1.5	El Índice Modificado de Fournier (IMF).....	20
4.1.6	El Índice de la Concentración de las precipitaciones (ICP).....	21
4.1.7	Estudios de agresividad pluvial.....	22
4.1.7.1	A nivel mundial.....	23
4.1.7.2	En México.....	25
4.1.7.3	En Querétaro.....	27
4.2	Sistemas de Información Geográfica.....	28
4.2.1	Los Sistemas de Información Geográfica y la erosión.....	29
4.2.2	Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en estimación de la erosividad de la lluvia.....	29
5	Descripción del área de estudio.....	30
5.1	Ubicación Geográfica.....	30
5.2	Fisiografía.....	32
5.3	Geología.....	33
5.4	Clima.....	35
5.5	Hidrología.....	36

5.6	Edafología.....	39
5.7	Vegetación y uso del suelo.....	39
6	Materiales y métodos.....	42
6.1	Materiales.....	42
6.2	Métodos.....	42
6.3	Base de datos de la precipitación en Querétaro.....	43
6.4	Obtención de la Cartografía de la erosividad de la lluvia con el IMF.....	45
6.4.1	Obtención del índice IMF.....	45
6.4.2	Obtención de la distribución temporal de la erosividad (IMF _i).....	46
6.4.3	Tratamiento de los datos en el Sistema de Información Geográfica.....	47
6.5	Obtención de la cartografía de la concentración de las precipitaciones.....	48
6.5.1	Obtención del índice ICP.....	48
6.5.2	Obtención de la distribución temporal de la concentración de las precipitaciones (ICP _m).....	49
6.5.3	Tratamiento de los datos en el Sistema de Información Geográfica.....	50
7	Resultados.....	51
7.1	Base de datos de la precipitación media por estación meteorológica.....	51
7.2	Precipitación media en Querétaro.....	52
7.3	Agresividad pluvial.....	54
7.3.1	IMF por estación meteorológica.....	55
7.3.2	Cartografía de la distribución espacial de la erosividad de la lluvia.....	56
7.3.3	IMF _i	58
7.3.4	Cartografía de la distribución temporal de la erosividad de la lluvia.....	60
7.4	Concentración de las Precipitaciones.....	64
7.4.1	ICP por estación meteorológica.....	65
7.4.2	Cartografía de la distribución espacial de la concentración de las precipitaciones.....	66
7.4.3	ICP _m	68
7.4.4	Cartografía de la distribución temporal de la concentración de las precipitaciones.....	70
8	Conclusiones.....	74
9	Bibliografía.....	77

INDICE DE FIGURAS, CUADROS, GRAFICAS Y MAPAS.

Figura 1. Principales procesos de degradación del suelo en México.....	25
Figura 2. Degradación de suelos en México, según el nivel.....	26
Figura 3. Ubicación del área de estudio.....	30
Figura 4. División municipal de Querétaro.	31
Figura 5. Fisiografía del estado de Querétaro.....	33
Figura 6. Cuencas y Regiones hidrológicas del estado de Querétaro.	38
Figura 7. Porcentajes superficiales de la vegetación y uso del suelo en Querétaro.	40
Figura 8. Vegetación y uso del suelo en el estado de Querétaro	41
Figura 9. Distribución geográfica de las estaciones meteorológicas.	43
Cuadro 1. Municipios de Querétaro y su población.	31
Cuadro 2. Provincias y subprovincias del estado de Querétaro.....	32
Cuadro 3. Regiones y cuencas hidrológicas del estado de Querétaro.....	36
Cuadro 4. Listado de las estaciones meteorológicas.....	44
Cuadro 5. Clasificación de los valores del índice IMF según CORINE-CEC (1992).....	45
Cuadro 6. Clasificación de los valores del índice ICP, según Lobo, <i>et al</i> (2005).....	48
Cuadro 7. Base de datos de la precipitación media por estación meteorológica.	51
Cuadro 8. Valores del Índice Modificado de Fournier obtenidos mediante la formula de Arnoldus (1980).....	55
Cuadro 9. Valores mensuales obtenidos del IMF_i por estación meteorológica.	59
Cuadro 10. Valores ICP obtenidos mediante la fórmula propuesta por Oliver (1980), para calcular la concentración de las precipitaciones.	65
Cuadro 11. Valores obtenidos del índice ICP_m por estación meteorológica.....	69
Gráfica 1. Valores IMF de las estaciones meteorológicas (ordenados de menor a mayor).	54
Gráfica 2. Distribución temporal de la agresividad de las lluvias.	58
Gráfica 3. Valores del índice ICP por estación meteorológica.....	64
Gráfica 4. Concentración mensual de las precipitaciones en Querétaro.....	68
Mapa 1. Precipitación anual en Querétaro. Distribución espacial.	52
Mapa 2. Erosividad de la lluvia en Querétaro según el índice IMF. Distribución espacial.....	56

Mapas 3 al 6. Distribución mensual de la erosividad de la lluvia. IMF _i . Enero-Abril.....	60
Mapas 7 al 10. Distribución mensual de la erosividad de la lluvia. IMF _i . Mayo-Junio.....	61
Mapas 11 al 14. Distribución mensual de la erosividad de la lluvia. Septiembre-Diciembre	62
Mapa 15. Concentración de la lluvia en Querétaro según el ICP. Distribución espacial.....	66
Mapas 16 al 19. Concentracion mensual de la precipitación en el estado de Querétaro (ICP _m). Enero-Abril	70
Mapas 20 al 23. Concentracion mensual de la precipitación en el estado de Querétaro. (ICP _m). Mayo-Junio.	71
Mapas 24 al 27. Concentracion mensual de la precipitación en el estado de Querétaro. (ICP _m). Septiembre-Diciembre.....	72

1. Introducción

El suelo es un cuerpo natural tridimensional, dinámico, que se halla presente sobre la superficie de la Tierra, que es un medio para el crecimiento de las plantas y cuyas características están determinadas por las fuerzas del clima y de los organismos vivos que actúan sobre el material original (Tamhane, 1986). Para el hombre, el suelo representa un modo de vida que lo ha acompañado a lo largo de su historia. En la actualidad la importancia del suelo se ha incrementado ha medida que el hombre reconoce otras interrelaciones del mismo, como su capacidad para proveer servicios críticos para los ecosistemas (Moreno Sánchez, 1999).

Es ese concepto dinámico de los suelos lo que los mantiene sujetos a constantes procesos que ocurren en el tiempo y el espacio formando la diversidad de paisajes que observamos día con día, por ejemplo valles, montañas y playas. Procesos como la erosión, salinización, la contaminación, el deterioro de propiedades físicas o la disminución de la fertilidad, pueden provocar la degradación de un territorio, la desaparición de una cultura (Porta *et al*, 2003). Sin embargo, esta variedad de paisajes presentes en nuestro planeta se hallan modelados por los procesos de erosión y sedimentación (Thompson 1982).

La erosión es considerada como la remoción del suelo por agentes del medio físico (Alvarado *et al*, 2008). En la naturaleza siempre ha habido y habrá erosión. La superficie terrestre está cambiando continuamente y es la erosión uno de los aspectos de ese proceso de cambio (Hudson, 1982). Este proceso ha mostrado un importante impacto en la actualidad, en gran parte por la influencia que la actividad humana imprime cada vez con mayor presión. La erosión en nuestros días es considerada uno de los problemas mas serios que enfrentan numerosas regiones del planeta debido al efecto que ocasiona en el equilibrio ambiental y sobre todo en la agricultura. México no esta exento ante tal situación, la erosión de suelos en el territorio es un problema ambiental que afecta a gran parte del territorio nacional en diferentes grados de severidad. Ya en 1994, la CONAZA (Comisión Nacional de Zonas Aridas), reportaba en México la presencia de erosión hídrica y eólica en 158.8 millones de hectáreas que originaban perdidas promedio de 2.754 toneladas de suelo por hectárea al año.

La erosión se diferencia de acuerdo al agente erosionante (hídrica, eólica y gravedad) y de acuerdo a la forma en la que se presenta (laminar, cárcavas, canalillos).

La erosión hídrica es el proceso geomorfológico dominante sobre la superficie del planeta (Toy *et al*, 2002). Para que este proceso se logre, es indispensable que se cumplan ciertas condiciones climáticas, orográficas y bióticas. Estas condiciones cumplen con interacciones que influyen de alguno u otro modo y en grados diferentes. Es el conjunto de esas condiciones e interacciones lo que determina la tasa con que el suelo se erosiona. Hudson (1982) considera que la erosión del suelo por el agua debe ser más intensa en regiones situadas entre las latitudes 40° Norte y 40° Sur, donde la precipitación anual no es ni muy baja ni muy alta.

La agresividad de la lluvia sobre el suelo conocida como erosividad es el factor activo en el proceso de erosión, complementado por la susceptibilidad del suelo a ser erosionado (factor pasivo). La falta de información acerca de las características de la erosividad de la lluvia impide una evaluación objetiva de su contribución al proceso de erosión de los suelos y a la degradación de los mismos (Vega y Febles, 2008). Esta información incluye variables como cantidad, intensidad y distribución. La distribución de la lluvia en cualquier lugar varía considerablemente con las estaciones anuales (Fangmier *et al*, 2006) y con ello su agresividad.

La variabilidad de las precipitaciones, tanto espacial como temporal, está relacionada con la dinámica general de la atmósfera, de la cual dependen el régimen pluviométrico anual y las oscilaciones interanuales, que sumados a la topografía y al relieve, introducen desequilibrios muy marcados en la distribución espacial de las precipitaciones (Fernández, 1995)

La agresividad pluvial fue incorporado por Wischmeier y Smith (1978) como el factor *R* en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS ó USLE, por sus siglas en inglés), la cual es un estimador que toma en cuenta los cinco factores principales que determinan la tasa de erosión: la erosividad de la lluvia, la susceptibilidad del suelo, longitud y grado de la pendiente, cobertura vegetal, y presencia de prácticas mecánicas de conservación. Aunque La EUPS ha sido la metodología más utilizada mundialmente para estimar pérdidas de suelo (Renard *et al*, 1995), el factor *R*, o factor de la erosividad de las precipitaciones, es muy difícil de cuantificar ya que se requieren datos pluviográficos del área determinada (Almoza *et al*, 2007).

La erosión hídrica en México y el estudio sobre sus causas y efectos resultan interesantes debido a los factores de suelo y de clima que coinciden en el país, y que convierten al territorio en una región propensa a este tipo de erosión.

El 65% del territorio nacional tiene pendientes mayores a los 10%; esta situación, aunada a una escasa cubierta vegetal al inicio de las lluvias incrementa el riesgo de la erosión hídrica en más del 70% del territorio, llegando a ser extrema en un 9% del país (CONAZA, 1994).

El estado de Querétaro no es ajeno a las características de clima y de relieve arriba mencionadas. Sus sierras y valles conforman al Estado en un lugar en el que se generan interacciones demasiado particulares y necesarias de estudiar. La SEMARNAT (2005) menciona que la superficie estatal afectada por erosión hídrica en el Estado es de 163 205 ha, que representan el 14.12% de su territorio.

2. Justificación

La erosión es uno de los principales procesos de la degradación del suelo, afectando así a los recursos naturales. Es además un problema que afecta actualmente a numerosas áreas agrícolas y forestales del país. Es por eso necesario comprender este proceso, y sentar bases ambientales que ayuden en la toma de decisiones para la planificación y explotación del suelo.

Por ello es que en años recientes la predicción de riesgos ha cobrado la importancia necesaria para revelarse como una rama multidisciplinaria necesaria en gestión ambiental y útil en diversas áreas del conocimiento de las ciencias ambientales. Dentro de esta predicción de riesgos, los mapas de erosividad son útiles para obtener conocimiento acerca del potencial erosivo de las lluvias en ciertas localidades con el fin de implementar las medidas necesarias para minimizar la erosión del suelo en esas áreas

El estado de Querétaro tiene una extensión de 11 684 Km² de superficie, de la cual 28% se destina a la agricultura, 24% pertenece a los bosques y el 41% de la superficie estatal es ocupada por matorrales: tres ecosistemas que en el Estado son altamente susceptibles a la erosión hídrica debido a la falta de prácticas de conservación, la tala inmoderada, y la escasa cubierta vegetal, principalmente.

La presente tesis pretende contribuir al estudio de la erosión en el estado de Querétaro al presentar una cartografía con las regiones que son propensas a sufrir, en el espacio y en el tiempo, erosión, debido a su régimen pluvial.

3. Objetivos.

3.1. Objetivo General.

- El objetivo de este trabajo es obtener la cartografía de la erosividad de la lluvia en el estado de Querétaro para analizar las características espaciales y temporales mediante índices de agresividad pluvial y concentración de las precipitaciones.

3.2. Objetivos Particulares.

- Analizar la erosividad de la lluvia en el estado de Querétaro a través de la elaboración de un mapa que muestre la distribución espacial de las regiones que son más propensas a sufrir erosión.
- Analizar la erosividad de la lluvia en el estado de Querétaro a través de la elaboración de un mapa que muestre la distribución espacial de la concentración de la lluvia en el tiempo.
- Analizar la erosividad de la lluvia en Querétaro a escala temporal, mediante la generación de una serie de mapas mensuales que muestren la distribución espacial del fenómeno en el tiempo.
- Delimitar la estacionalidad de las lluvias y su erosividad creando una serie de mapas mensuales de la concentración de las precipitaciones en el estado de Querétaro.

4. Marco teórico.

4.1 Erosión Hídrica

La erosión hídrica comienza con las gotas de lluvia. El efecto devastador de éstas, cuando golpean en el suelo desnudo fue pasado por alto durante mucho tiempo, pero desde décadas recientes se reconoce como el principal factor de desplazamiento de las partículas del suelo (Thompson, 1982). La erosión del suelo por el agua ocurre entonces cuando la infiltración de la lluvia en el suelo es de una magnitud tal que se produce un flujo superficial del agua sobre el terreno. Esta agua tiene una velocidad relativamente alta y puede acarrear materiales del suelo en función de la fuerza hidráulica de su flujo. Conforme el agua que fluye sobre la superficie tiene una carga más grande, se ejercen fuerzas hidráulicas mayores y la erosión del suelo puede actuar catastróficamente aún en pendientes suaves. Estas condiciones son comúnmente encontradas en las áreas semiáridas y en zonas áridas, donde la escorrentía es con frecuencia generada debido a un encostramiento en la superficie del suelo (Carmi y Berliner, 2008), aunque aquellos terrenos abiertos al cultivo son susceptibles a la erosión en cualquier clima (Figuroa *et al.*, 1992). Por ello, actualmente se considera que la erosión hídrica es el proceso que mayor incidencia tiene en la degradación de los suelos (Cruz, 1997).

Sin embargo, la erosión hídrica no es igual ni parecida en el tiempo ni en el espacio, debido a que algunos ambientes son menos estables que otros o más propensos a sufrir alteraciones (Barrow, 1991). Los factores que influyen en la tasa de erosión son la lluvia, la escorrentía, el tipo de suelo, la pendiente, la cobertura vegetal y, antropogénicamente, la presencia o ausencia de medidas de conservación. Estos factores, Morgan *et al* (1997) los agrupan en tres categorías: energía, resistencia, y protección. El grupo correspondiente a la energía incluye la habilidad potencial de la lluvia y el escurrimiento para causar erosión. Esta habilidad se denomina *erosividad*. También se incluyen aquellos factores que afectan directamente el poder de los agentes erosivos, tal como la reducción en la longitud del escurrimiento.

Un factor fundamental para el grupo de la resistencia es la erosionabilidad del suelo, que depende de las propiedades mecánicas y químicas del mismo. Aquellos factores que promueven la infiltración del agua en el suelo y por lo tanto reduzcan el escurrimiento disminuirán la erosionabilidad.

El grupo de la protección se centra alrededor de la cobertura vegetal. La cobertura vegetal protege al suelo de la erosión mediante la intercepción de la lluvia y la reducción de la velocidad del escurrimiento.

Tales factores se ven involucrados en la Ecuación Universal de Pérdida de suelo que a continuación se describe en su relación con la erosión hídrica.

4.1.1 La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE)

La EUPS es una herramienta predictiva diseñada para estimar el promedio anual de pérdida de suelo en un campo. Esta ecuación considera un rango de parámetros para obtener el valor promedio de la pérdida de suelo anual (Barrow, 1991). Las primeras expresiones matemáticas predictivas para evaluar erosión se remontan a los estudios de Zingg (1940) entre la longitud y grado de la pendiente y la erosión del suelo. Smith y Whitt (1948) adicionan a la ecuación la influencia de la cubierta vegetal y su manejo. Años más tarde, Wischmeier y Smith (1958) desarrollan la metodología para calcular el factor de la erosividad de la lluvia, llamado *R*, y lo integran en una ecuación universal para estimar pérdidas de suelo por erosión.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo fue diseñada como herramienta de trabajo para conservacionistas, técnicos y programadores del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), (Wischmeier, 1977). Esta ecuación se basa en cinco factores que aportan datos suficientes para estimar exclusivamente pérdidas por erosión hídrica.

La ecuación es:

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

Donde:

A= Pérdida de suelo anual expresado comúnmente en ton/ha/año, aunque otras unidades pueden ser seleccionadas con validades (i.e., ton/acre/año, mt/ha/año, etc.)

R= Erosividad de la lluvia. Evalúa el potencial erosivo de la lluvia. Es el promedio anual de la suma de los productos de la energía cinética de cada aguacero por la intensidad máxima en 30 minutos del mismo aguacero.

K= Erosionabilidad del suelo. Indica la resistencia relativa de los diferentes suelos a la erosión. Se expresa como la tasa de erosión por unidad de índice de erosividad (ton/ha).

L= Longitud de la pendiente. Es una relación que compara las perdidas de suelo con la de un campo experimental de longitud especificada (22.1 m)

S= Grado de la pendiente. Es una relación que compara la pérdida de suelo con la de un campo experimental de pendiente especificada (9%)

C=Factor de cobertura vegetal. Es la relación que compara la pérdida de suelo con la de un campo experimental cultivado en condiciones prefijadas (barbecho desnudo)

P= Factor de prácticas mecánicas de control de la erosión. Es una relación que compara la perdida de suelo con la de un campo en la que no se realiza práctica alguna de conservación.

La ecuación básica es $A=R*K$, los factores activo (erosividad) y pasivo (erosionabilidad), ya que los demás factores (L, S, C y P) son cocientes adimensionales diferentes a las condiciones patrón de la ecuación básica (Moreno Sánchez, 1999).

Cada uno de estos factores posee una metodología precisa para ser calculados. Sin embargo, los problemas surgen cuando se aplica la ecuación en aquellas áreas donde los datos son imprecisos o no se encuentran disponibles (Barrow, 1991). El factor lluvia es, de entre los demás, probablemente el más difícil de obtener, en especial si se necesita calcular para una gran cantidad de estaciones (Arnoldus, 1980) al intentar estimar pérdidas de suelo a escalas mayores.

4.1.2. El factor Lluvia.

El clima es un sistema dinámico que actúa en multitud de procesos (López y Romero, 1993). La erosividad de la lluvia, en particular, es fuertemente influenciada por estas condiciones climáticas (Zanch y Torri, 1980), y la información cuantitativa de las características pluviales en una región es tan importante como la información de las propiedades del suelo (Morin, 1996).

La distribución geográfica de la lluvia es ampliamente influenciada por la presencia de grandes cuerpos de agua, el movimiento de las masas de aire y los cambios en la elevación del relieve (Fangmier *et al*, 2006). Esta relación entre pluviometría y orografía ha sido muy discutida por los climatólogos y parece existir un acuerdo en que la precipitación aumenta con la altitud, hasta un máximo pluviométrico que se produce entre los 1 500 y los 2 000 m de altitud (Vargas, 2004).

La República Mexicana, representa una importante variación espacio-temporal de las precipitaciones, con valores que van desde los 200 mm en el norte del país hasta los 3000 mm en la frontera sur (Gutierrez-López *et al*, 2005). Esta distribución de las precipitaciones ha sido bien documentada (García, 2003) y varía enormemente en espacio y tiempo. Esta lluvia es heterogénea a lo largo del año y geográficamente aumenta en dirección norte-sur debido a la influencia de la latitud, así mismo, está gobernada en gran medida por la proximidad al Océano Pacífico y Golfo de México (Campos-Aranda, 1992), a la orografía del país y a los rasgos de la circulación atmosférica (García, 2003), así como a la teleconectividad del fenómeno del Niño (Cavazos y Hastenrath, 1990). Estudios de varios años indican que el 70% de la precipitación en México se registra de mayo a octubre (Mosiño y García, 1974). La presencia de lluvia durante el año es muy importante ya que influye en cierta medida en el sector agrícola (Englehart y Douglas, 2000), en especial la agricultura de temporal, ya que es completamente dependiente de la precipitación y por tanto altamente vulnerable a la variabilidad interanual e interestacional de la misma (Méndez *et al*, 2008). Los meses más lluviosos en México están representados por agosto y septiembre, mientras que los menos lluviosos son febrero y marzo.

4.1.3. La erosividad de la lluvia

La erosividad es entendida como la acción mecánica (agresiva o destructiva) de la lluvia sobre el suelo o la capacidad de la lluvia para producir erosión (Colloti, 2004). Esta erosividad ha sido considerada como la variable climática en las ecuaciones para determinar pérdidas de suelo y constituye un factor fundamental para comprender el funcionamiento de los procesos erosivos que tienen lugar en un territorio (Jordán y Bellinfante, 2000). El principal factor que influye en el fenómeno de la erosividad es la media anual de precipitaciones. Sin embargo, no solo interesa la cantidad de lluvia, sino, también, el tipo de lluvia (Hudson, 1982).

Para su cálculo se han diseñado numerosos índices que se han utilizado en modelos de predicción del riesgo de erosión, siendo el más conocido el factor R (Wischmeier, 1959) que se incorpora en la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (Wischmeier y Smith, 1978). Este factor evalúa la importancia que tiene sobre la erosión del suelo la energía cinética de cada evento tormentoso y su intensidad máxima (Pascual *et al.* 2001).

Sin embargo, este cálculo de erosividad de la lluvia es un parámetro difícil de estimar en muchos lugares, ya que es necesario disponer de información detallada de las precipitaciones al requerirse un registro continuo de las variaciones de intensidad de la lluvia durante los diferentes aguaceros. Esto, aunado a la escasa red de pluviógrafos en la mayoría de los países, incluyendo México, provoca que la tarea emprendida para obtener dicha estimación aumente considerablemente en dificultad.

Por estos motivos se han elaborado índices de erosividad que se obtienen exclusivamente con volúmenes de precipitación. Entre estos los más conocidos son el índice de agresividad climática de Fournier (1960), el índice de Fournier modificado por Arnoldus (IMF), (1980), y el Índice de Concentración de las Precipitaciones (ICP) de Oliver (1980).

El empleo de los índices de agresividad climática, permite caracterizar la erosividad de la lluvia como un indicador de presión ambiental, disponiendo solamente de los datos pluviométricos. La integración de los índices IMF e ICP evalúa el efecto combinado que producen la agresividad de las precipitaciones y la distribución de las mismas en el año. (Vega y Febles, 2008).

4.1.4 Índices de erosividad

Los índices que evalúan la agresividad de las precipitaciones son de dos tipos: los que combinan el volumen e intensidad de la lluvia, asociando el cálculo de la energía liberada por el aguacero, y los basados en estimaciones de volúmenes (De Luis *et al*, 1997). Los dos conjuntos de métodos, aunque ampliamente utilizados, tienen serios problemas en su aplicación espacial. Los índices del primer grupo utilizan datos que con frecuencia no son recogidos en las estaciones pluviométricas, particularmente la intensidad, por lo que su proyección al espacio se realizará siempre a partir de un número escaso de puntos observados. En segundo lugar, las evaluaciones realizadas con datos mensuales ocultan el efecto de la posible concentración o dispersión diaria de las precipitaciones, éstos a su vez el de la concentración horaria, etc. (González-Hidalgo, 1996).

Por otro lado, para computar los valores de lluvia de EI_{30} (energía cinética liberada por la lluvia y su máxima intensidad en un intervalo de 30 minutos) que requiere el cálculo de R de la EUPS se necesitan datos continuos de intensidad de la lluvia. Wischmeier y Smith (1978) recomiendan datos de estaciones pluviográficas con 20 años de registros continuos para tomar en cuenta las variaciones climáticas naturales. En muchas partes del mundo, sin embargo, la densidad de pluviógrafos y sus datos temporales y espaciales son usualmente limitados. Varios países no cuentan con los registros suficientes para calcular el factor R (Lal *et al*, 1980). En áreas donde no se cuenta con datos continuos de intensidad de la lluvia o no se encuentran disponibles los registros, el factor R de la EUPS, puede ser estimado utilizando la media anual, mensual o diaria de las precipitaciones (Lal *et al*, 1980) o el Índice Modificado de Fournier (Men *et al*, 2008).

La estimación de la erosividad con base en datos mensuales, anuales o diarios de precipitación representa una aproximación al valor R , y Lal *et al* (1980) recomiendan usarlo con cautela.

En general el valor anual de la erosividad, sea cual sea el índice que la exprese, depende en gran medida del valor aportado por un corto número de meses e incluso días, es decir en el binomio volumen y concentración señalan el valor del segundo elemento como determinante de la agresividad pluvial (De Luis *et al*, 1997).

4.1.5 El Índice Modificado de Fournier (IMF)

Fournier (1960), trabajando en sus estudios comparativos de la degradación específica (DE) (ton/km²/año), desarrolló un índice de erosividad de la lluvia basándose en datos mensuales de precipitación. Su fórmula original es:

$$IF = p^2 / P$$

Donde:

IF= Índice de Fournier

p²= precipitación mensual más elevada

P= precipitación anual.

En años siguientes varios investigadores continúan trabajando con registros pluviométricos. Roose (1977) observa que existe una relación empírica entre la media anual del índice *R* de erosividad y la cantidad anual de lluvia. Lal *et al* (1980) deducen que la media anual del índice de erosividad se aproxima a la mitad de la precipitación anual y Arnoldus (1980) propone una modificación al índice de Fournier en la que considera no sólo la precipitación mensual del mes más húmedo, sino la lluvia de todos los meses (Jordán y Bellinfante, 2000).

Su cálculo se obtiene de la siguiente manera:

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P_i}$$

Donde:

IMF es el Índice Modificado de Fournier o la agresividad del clima en mm.

p_i es la precipitación media mensual

P_i es la precipitación media anual

4.1.6 El Índice de la Concentración de las precipitaciones (ICP)

Con el objetivo de estimar la agresividad de las lluvias, a partir de la variabilidad temporal de las precipitaciones mensuales, Oliver (1980) propuso el índice de concentración de las precipitaciones (ICP), el cual se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$ICP = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P^2}$$

Donde:

ICP es el Índice de Concentración de las Precipitaciones, expresado como porcentaje.

p_i es precipitación mensual.

P es precipitación anual.

El rango posible de variación del índice va desde 8.33% (si la precipitación es idéntica en todos los meses) hasta 100% (si toda la lluvia se concentra en un solo mes). El valor del ICP reviste un gran interés, si se tiene en cuenta la incidencia de la precipitación sobre la erosión del suelo, que genera una dinámica más activa cuanto mayor es la concentración de las lluvias en el tiempo (Jordán y Bellinfante, 2000). En general, los índices de concentración de las precipitaciones ofrecen un resumen anual, de un año en concreto o de medias de un periodo de varios años (Pascual *et al*, 2001).

4.1.7 Estudios de agresividad pluvial.

Los datos pluviométricos han sido de gran ayuda en la estimación de la erosividad por su relativa facilidad de cálculo, sobre todo en lugares donde no se cuentan con registros de intensidad. La aplicación de esos estudios ha sido diversa. Ya desde 1977, Roose observa que existe una relación empírica entre la media anual del índice R de erosividad y la cantidad anual de lluvia. Esta media anual del índice de erosividad se aproxima según Lal *et al* (1980) a la mitad de la precipitación anual. Pons y Soriano (1994) utilizan también datos pluviométricos para calcular el coeficiente R en España; y Diodato (2004) simplifica una relación para estimar el índice de erosión EI_{30} de la EUPS a partir de datos pluviométricos en la región mediterránea de Italia. Da Silva (2004), también, estudia la distribución espacial de la erosividad de la lluvia a lo largo del año utilizando registros pluviométricos en Brasil y utiliza SIG para interpolar los valores y mostrar sus resultados de variación espacial.

El continuo estudio de la información de estaciones pluviométricas dio como resultado el surgimiento de índices de erosividad que se obtienen exclusivamente con volúmenes de precipitación como el Índice Modificado de Fournier de Arnoldus (1980) y el Índice de la Concentración de las Precipitaciones (Oliver, 1980).

El IMF ofrece una aproximación rápida al valor del factor lluvia (Arnoldus, 1980) y varios investigadores han encontrado buenas relaciones entre la erosividad de la lluvia y este índice (Shamshad et al, 2008). Por su parte el ICP es un índice que permite evaluar la distribución de la lluvia a lo largo del año definiendo de este modo la estacionalidad de las lluvias. Es por ello que el uso y las aplicaciones de este tipo de índices se han desarrollado de manera global como una opción a la falta de registros pluviográficos.

4.1.7.1 A nivel mundial

El IMF ha sido ampliamente utilizado en la evaluación de la erosión hídrica. Arnoldus (1977) utilizó la relación del factor climático de Fournier con el factor R de la EUPS para elaborar el mapa isoerodante de Marruecos.

La FAO, en 1978, recomendó utilizar el índice de Fournier modificado, como una expresión de la erosividad de la lluvia, y un año después, la misma FAO (1979), a partir de las relaciones de Arnoldus elaboró un mapa de erosividad del mundo, utilizando una ecuación general decidiendo adoptar el índice en sus estudios regionales.

En España, el Instituto para la Conservación de la Naturaleza, ICONA, (1981), también decide adoptarlo en sus cartografías temáticas para evaluar la EUPS en las diferentes cuencas hidrográficas españolas.

La relación del IMF con el factor R de la USLE ha sido estudiada por el propio Arnoldus (1980), por Bolline *et al* (1980) al elaborar un mapa de erosividad en Bélgica; y Bergsma (1980) al elaborar también un mapa provisional de erosividad de la lluvia en Holanda

La Coordinación de Información Ambiental (CORINE) de la Unión Europea, en 1992, propone una metodología para estimar erosión hídrica basada en la EUPS obteniendo el factor de erosividad mediante el Índice Modificado de Fournier y el Índice de Aridez

De Luis *et al* (1997) evalúa la distribución de la concentración y agresividad de la lluvia en la Comunidad Valenciana en España mediante el IMF, el ICP y los índices ponderados (IMF_w ; ICP_w) propuestos por Gabriels (1992) para estimar variabilidad interanual. Además, considera al IMF como aquel que conjuga los componentes de volumen y concentración que a priori es el que mejor evaluaría la agresividad pluvial.

Ferro *et al* (1999) utiliza el IMF para comparar estimación de erosividad en regiones europeas y australianas.

Jordán y Bellinfante (2000) elaboran una cartografía de la erosividad de la lluvia en el Sur de España a partir de datos pluviométricos aplicando el IMF, el ICP, y el índice de Fournier para cada mes por separado para estimar la incidencia de la precipitación de cada mes en la erosión del suelo.

Pascual *et al* (2001) evalúa la concentración y agresividad de las precipitaciones utilizando el IMF y el ICP además de un índice modificado del ICP (ICP_w) para delimitar la estacionalidad en el sur de España.

Para el cálculo del factor R , Basile *et al.*, (2005) alimentó un modelo con datos de precipitación media mensual de estaciones pluviométricas en Argentina, encontrando un ajuste muy satisfactorio entre el IMF y el EI_{30} .

Lobo *et al.*, (2005) y un grupo de expertos proponen el Índice de Fournier modificado para caracterizar la agresividad de la precipitación en la elaboración de un mapa de zonas áridas de Latinoamérica.

Gregori *et al* (2006) utiliza datos pluviométricos de 292 locaciones italianas para elaborar una clasificación de agresividad climática y riesgo en la península aplicando el IMF, el ICP y los índices promedios o ponderados para obtener variaciones interanuales.

Para calcular el riesgo de erosión en Turquía (Parlak *et al*, 2007; Yuskel *et al*, 2008) y analizar su variabilidad (Bayramin *et al*, 2006) los investigadores utilizan el IMF al combinarlo con el índice de aridez de Bagnouls-Gaussen para evaluar la erosividad de la lluvia según la metodología CORINE de la Unión Europea, y Apaydin *et al* (2006) evalúa la concentración y distribución de la lluvia aplicando el IMF con variantes promedio para fines comparativos y de mayor detalle en la región sureste de la misma península Anatólica.

En Sudamérica, Pizarro *et al* (2008) analiza la distribución y agresividad de las precipitaciones de la región central de Chile utilizando precipitaciones mensuales y anuales como información para calcular el IF, el IMF, el ICP, y el IMF_M (Índice Modificado de Fournier-Maule) donde observa que los índices mantienen una relación directa con las precipitaciones, es decir, a medida que aumenta el monto de las precipitaciones, también aumenta su agresividad.

4.1.7.2 En México

Maass y García (1990) señalan que la información que existe en México sobre erosión es escasa a nivel nacional, difusa y contradictoria, a pesar de que tal proceso influye determinadamente en la vida diaria de diversas poblaciones en el territorio nacional. Sin embargo, existe información que es necesario tomar en cuenta para generar el conocimiento que permita ampliar los horizontes en materia de conservación y gestión del medio ambiente.

Se ha estimado que un 98% de la superficie territorial de México está afectada en distintos niveles por el proceso de erosión (Alvarado *et al*, 2008), y que más del 60% del suelo en México se encuentra degradado en situación de moderada a severa (Tapia *et al*, 2000). Además, desde 1960, los bosques templados y tropicales del país se han reducido en 30% y 75% respectivamente (Tiscareno *et al*, 1999).

Según la SEMARNAT (2005), la erosión hídrica es el segundo proceso principal de degradación de suelos en México, sólo después de la degradación química (Figura 1)

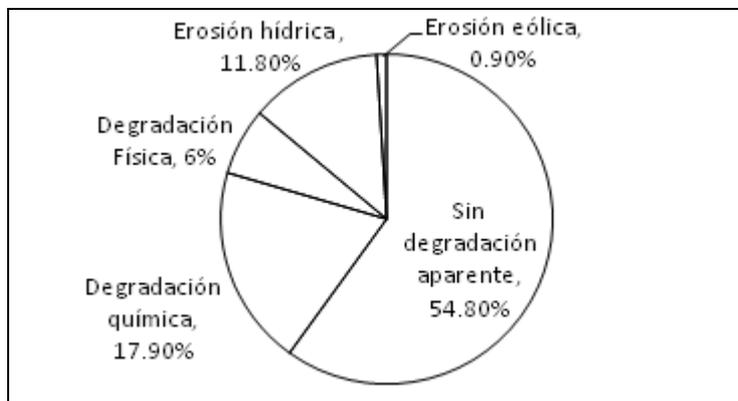


Figura 1. Principales procesos de degradación del suelo en México

La misma SEMARNAT (2005) reporta que el 54.8% del territorio se encuentra sin degradación aparente, lo cual no obliga a pensar que no existe el riesgo de degradación, y sólo un poco más del 2% se halla en las categorías de severa y extrema degradación (figura 2).

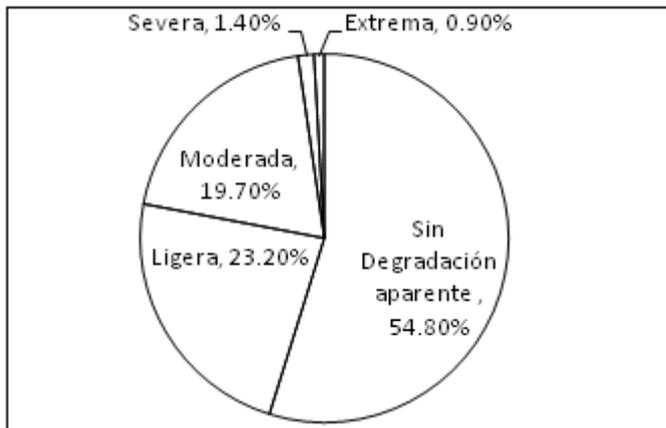


Figura 2. Degradación de suelos en México, según el nivel.

Es esta situación ambiental la que ha motivado a diversos autores a estudiar más a fondo los fenómenos erosivos en el país.

Cortés (1991) desarrolló una serie de algoritmos para obtener aproximaciones al valor R de Wischmeier (1978) a partir de la media anual de precipitaciones sustituyéndolas en ecuaciones cuadráticas para regiones específicas de la República Mexicana. Este procedimiento ha sido empleado y reconocido en numerosos estudios a lo largo del país (Martínez *et al*, 2001 en Oaxaca; Baumann *et al*, 2002 en Chiapas; Röder *et al*, 2006 en Jalisco)

Al comparar métodos de estimación de erosión hídrica en una microcuenca de Nuevo León, Pando *et al* (2003) obtienen valores de erosión con el IMF estadísticamente iguales a los valores obtenidos por métodos de estimación directos.

Campos-Aranda (2008) al estudiar precipitaciones máximas diarias en San Luis Potosí, destaca la importancia de los registros pluviométricos de lluvias máximas diarias anuales y de los métodos regionales en la predicción de crecientes cuando la información hidrométrica y pluviográfica no está disponible.

4.1.7.3 En Querétaro

La información bibliográfica de la erosión hídrica y las investigaciones de erosividad del Estado en particular, han sido realizadas casi en su totalidad por dependencias del gobierno. Sin embargo es necesario mencionarlas en este apartado.

Una de las primeras aproximaciones bibliográficas que muestran el comportamiento de la lluvia en el Estado es la que realizan en 1977 García *et al*, donde se indica estadísticamente la cantidad media mensual y anual, de Mayo a Octubre y de Noviembre a Abril en Querétaro y la probabilidad de tenerla.

Además en los últimos años se han desarrollado trabajos interesantes en el estado:

Trabajando en la cuenca –Santa Catarina” del municipio de Querétaro, Montes *et al*, (2000) propone una metodología utilizando un SIG para estimar el riesgo de erosión hídrica en cuencas hidrográficas.

Montes (2002) realizó estudios en predicción de la erosión hídrica para todo el estado y la elaboración de planes de conservación de suelos a nivel de cuenca.

Rivera (2003) estudio el efecto de la interacción lluvia-escorrentía en el proceso de erosión en surcos.

En Huimilpan, Sanaphre (2006), realizó una evaluación de la erosión hídrica en la microcuenca de San Pedro, además de presentar una propuesta del uso de vegetación para su control y conservación. Al mismo tiempo, Muñoz (2006) también estudia la erosión hídrica en la misma microcuenca y propone también, por separado, una valoración integrada para su control.

López (2007) estudia la interceptación de la vegetación herbácea en los ambientes semiáridos de Querétaro y su relación con la intensidad, duración y frecuencia de las precipitaciones.

4.2 Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas que permiten el procesamiento de datos espaciales en generación de información, ligada explícitamente, y utilizada para tomar decisiones, sobre cierta porción de la Tierra (DeMers, 2005).

Actualmente los Sistemas de Información geográfica se contemplan como una tecnología integradora para analizar y predecir espacialmente, y de manera automatizada, incógnitas sobre localización, patrones, tendencias, y condiciones de un fenómeno (Roldán, 2004).

Dentro de las numerosas aplicaciones que se pueden encontrar en la literatura, Roldán (2004) describe algunos ejemplos ecológicos como el control de plagas, el manejo de sistemas agropastoriles, la evaluación y manejo de fauna silvestre, estudios florísticos y etnobotánicos, planeación de áreas naturales, y evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo y la identificación de focos de alto riesgo que tienen utilidad también en la protección civil.

Se vuelven innumerables los ejemplos de aplicaciones al revisar la bibliografía, y aunque los Sistemas de información geográfica datan de las últimas tres décadas, su aplicación ha sido inmediata, encontrándose aplicaciones a nivel mundial en casi todos los ramos (Moreno Sánchez, 1999).

4.2.1 Los Sistemas de Información Geográfica y la erosión.

Los Sistemas de Información Geográfica juegan un importante papel en la evaluación del riesgo ya que tienen las siguientes ventajas sobre los métodos tradicionales: permiten el modelado espacial, en cuyo contexto, los datos mapeados se convierten verdaderamente en información espacial para una toma de decisiones efectiva y, permiten generar una amplia variedad de modelos, además de poder crearse y desplegarse para reflejar diferentes escenarios de peligro en formas diferentes a los mapas tradicionales (Berry, 1987).

En el presente estudio cabe señalar la importancia de los Sistemas de Información Geográfica para generar, a partir de valores de erosividad, mapas con la distribución geográfica del régimen pluvial y su influencia en la erosión.

4.2.2 Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en estimación de la erosividad de la lluvia.

En realidad han sido numerosos los trabajos realizados por investigadores en el campo específico de la erosión desde hace más de veinte años. Uno de los primeros antecedentes que se pueden citar es el trabajo de Auerswald (1988) quien combinó la EUPS con un modelo de elevación digital para estimar la pérdida de suelo a escala detallada (1:50000) teniendo la especial ventaja con este modelo de tomar en cuenta el efecto que la pendiente ejerce en la pérdida de suelo. Wilson (1989), aplicó la EUPS a través de un SIG para el cálculo de la erosión de las tierras dedicadas a la agricultura en la cuenca del lago Simcoe-Couchiching para el periodo 1800-1981 reconociendo que la EUPS es un buen estimador de la erosión y encontrando además que las pérdidas de suelo han pasado por una tasa de alto a bajo y nuevamente a alto en los pasados 130 años.

Ejemplos de los SIG y la EUPS son varios desde entonces. Los SIG también han sido usados en específico para analizar erosividad de la lluvia y su distribución en el tiempo y en el espacio. Entre ellos están los trabajos de Jordán y Bellinfante (2000), Pascual *et al* (2001), Montes *et al* (2000) etc. Y en general, la mayoría de los trabajos que se mencionan anteriormente, a nivel mundial, nacional y regional han sido desarrollados para su mejor interpretación en SIG.

5 Descripción del área de estudio

5.1 Ubicación Geográfica

Querétaro de Arteaga se encuentra localizado en la región central del país entre los paralelos $20^{\circ} 01' 02''$ y $21^{\circ} 40'$ latitud Norte y los meridianos $99^{\circ} 03' 23''$ y $100^{\circ} 36'$ longitud Oeste (figura 3). Colinda al Norte con Guanajuato y el estado de San Luis Potosí; al Oeste con Guanajuato; al Este con Hidalgo y San Luis Potosí; y al Sur con los estados de Hidalgo, México y Michoacán (INEGI, 2008). Querétaro tiene una extensión territorial de $11\,684\text{ Km}^2$ y una población de $1\,598\,139$ habitantes al censo del año 2005.

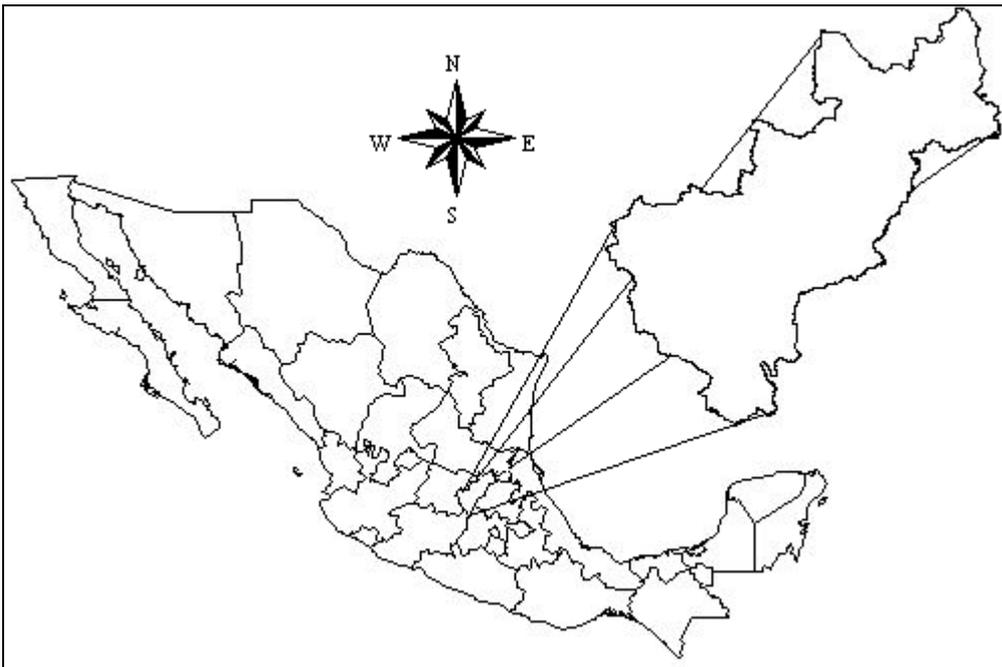


Figura 3. Ubicación del área de estudio.

La superficie del estado representa el 0.6% del territorio nacional y se divide a sí mismo en 18 municipios (Figura 4), siendo Querétaro la capital y el municipio con mayor población (Cuadro 1).

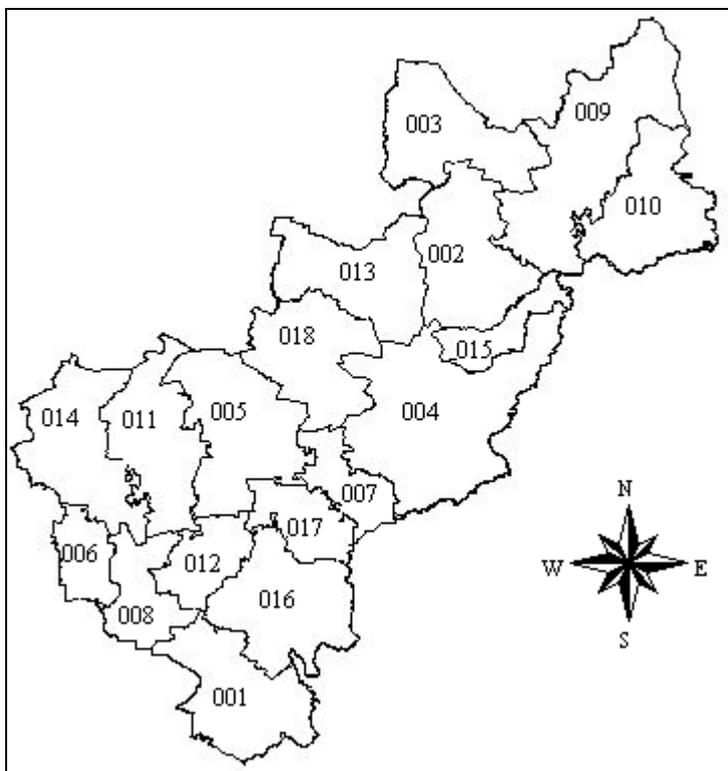


Figura 4. División municipal de Querétaro.

Clave	Municipio	Población	Clave	Municipio	Población
001	Amealco de Bonfil	56457	010	Landa de Matamoros	18905
002	Pinal de Amoles	25325	011	El Marques	79743
003	Arroyo Seco	12493	012	Pedro Escobedo	56553
004	Cadereyta de Montes	57204	013	Peñamiller	17007
005	Colon	51625	014	Queretaro	734139
006	Corregidora	104218	015	San Joaquin	7634
007	Ezequiel Montes	34729	016	San Juan del Rio	208462
008	Huimilpan	32728	017	Tequisquiapan	54929
009	Jalpan de Serra	22025	018	Tolimán	63220

Cuadro 1. Municipios de Querétaro y su población.

5.2 Fisiografía

El estado de Querétaro forma parte de tres provincias fisiográficas que se presentan a continuación en el cuadro 2:

Cuadro 2. Provincias y subprovincias del estado de Querétaro

Provincia	Subprovincia	%*
Eje neovolcánico	Llanuras y sierras de Querétaro e Hidalgo	47,40
	Mil Cumbres	3,20
Sierra Madre Oriental	Carso Huasteco	35,44
Mesa del Centro	Sierras y llanuras del norte de Guanajuato	13,96

Fuente: INEGI, 2009. Anuario estadístico del estado de Querétaro

*Porcentaje de la superficie estatal

El eje neovolcánico se ubica en el centro sur de la entidad, formando lomeríos, mesetas y pequeños estratovolcanes constituidos por derrames de lavas.

La provincia de la mesa del Centro, conocida también como Altiplano Mexicano, se localiza en la porción centro-occidental del estado de Querétaro, está formado por sierras, llanuras y mesetas constituidas por rocas volcánicas del Terciario.

La provincia de la Sierra Madre Oriental se localiza en la parte centro-norte del estado, formando grandes sierras alargadas con orientación noroeste-sureste, constituidas por rocas Jurásicas y Cretácicas (Consejo de Recursos Minerales, 1992)

La distribución geográfica de las provincias y subprovincias fisiográficas del estado de Querétaro se muestran a continuación en la figura 5.

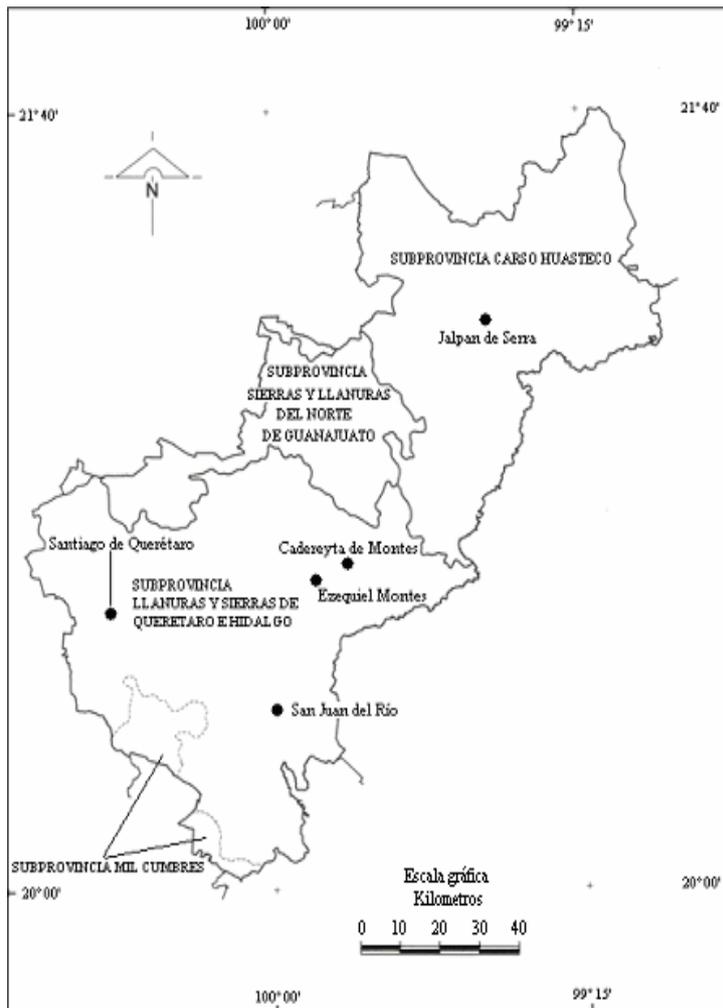


Figura 5. Fisiografía del estado de Querétaro.

5.3 Geología

En la Provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, que abarca gran porción del centro y sur de Querétaro, la morfología del paisaje está representada por diversos tipos de estructuras volcánicas, como son conos cineríticos, volcanes compuestos, flujos piroclásticos y extensos derrames lávicos de basalto con formas de mesetas y planicies (INEGI, 2009). El conjunto de estructuras volcánicas características del paisaje de Querétaro se conformó sobre un paleorrelieve constituido por las rocas sedimentarias del Mesozoico. La evolución de los fenómenos volcánicos propició el cierre de algunas cuencas que fueron azolvadas con aportes volcanoclásticos, los cuales litológicamente tienen características de rocas volcánicas depositadas en un medio lacustre. Existen varios sistemas de fallas y fracturas pero sólo aparecen representadas las que tienen orientación Noroeste-Sureste. Al parecer, estos patrones están relacionados con las zonas donde hay manifestaciones hidrotermales, como Tequisquiapan (INEGI, 2009).

Dentro de la provincia de la Sierra Madre Oriental queda comprendido más de 47% del territorio queretano. Está constituida principalmente por rocas sedimentarias en su mayoría marinas; las más antiguas de ellas datan del Jurásico y afloran en diversas localidades como Bucareli, El Chilar y al oeste de Peñamiller. Los rasgos estructurales que se observan en esta provincia indican varios tipos de deformación de la secuencia rocosa que la conforman. Algunos de estos rasgos corresponden a una fase neotectónica y se manifiestan como rupturas en el relieve y fuertes cambios de pendientes transversales a las estructuras (INEGI, 2009).

En la provincia de la Mesa del Centro, que abarca sólo una pequeña zona de la parte centro-occidente de Querétaro. Está constituida por dominio de rocas ígneas extrusivas de tipo ácido, como riolitas y tobas riolíticas, que están intercaladas en la mayor parte del área que cubre esta provincia en la entidad. La morfología del paisaje de esta porción queretana está caracterizada por una serie de extensas mesetas piroclásticas y domos riolíticos, que rara vez se encuentran cubiertos por derrames de basaltos. Los rasgos estructurales de esta provincia tienen un origen relacionado con los fenómenos volcánicos, los cuales forman estructuras dómicas de laderas inclinadas sobre los puntos de erupción, debido a la alta viscosidad de las lavas de tipo ácido (silíceas), así como depósitos piroclásticos que caracterizan la morfología dominante del relieve (INEGI, 2009).

5.4 Clima

Se distinguen tres áreas climáticas bien definidas: la porción sur, que comprende parte de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico; la región centro que abarca áreas del Eje Neovolcánico, La Sierra Madre Oriental y la Mesa del Centro; y la zona norte que corresponde a una porción de la Sierra Madre Oriental.

Los climas templados subhúmedos (C) se distribuyen en la porción austral del estado, por Amealco, Huimilpan, San Pedrito y San Bartolomé. Estos climas son estables en lo que se refiere a temperatura, pues su régimen térmico medio anual varía de 12° a 18°C y sus precipitaciones más abundantes se registran en verano, pero a la mitad de esa estación se registra un periodo seco. El grado de humedad aumenta conforme se avanza hacia el sur, la precipitación anual oscila entre 630 y 860 mm.

Los climas secos y semisecos (B) del centro se presentan en terrenos rodeados de sierras, mesetas y lomeríos que impiden el paso de los vientos húmedos del Golfo y la Mesa del Centro, que en sus laderas boreales retiene la humedad de los vientos que viajan de norte a sur. La disposición de esas áreas origina un índice de precipitación bajo en la zona y provoca una oscilación térmica de 7° a 14°C, que determina el carácter extremo de estos climas. El clima Semiseco Semicálido BS1(h) presenta una temperatura media anual que varía de 18° a 19°C, y la precipitación total anual fluctúa entre 450 y 630 mm. Las áreas donde rige esta variante están situadas en los alrededores de la ciudad de Querétaro, Villa Corregidora, El Marqués, Santa Rosa de Jáuregui, la localidad Paso de Tablas y en la colindancia del municipio de Peñamiller con el estado de Guanajuato. El clima Semiseco Templado BS1k es el más común, ya que cubre aproximadamente 35% de la superficie estatal, esta variante rige en las poblaciones de Ezequiel Montes, Cadereyta, Tequisquiapan y San Juan del Río. Las temperaturas medias anuales oscilan entre 16° y los 18°C, la precipitación total anual fluctúa entre 450 y 630 mm. El clima Seco Semicálido BS1h influye principalmente las poblaciones de Peñamiller y Tolimán. La precipitación total anual va de 370 a 470 mm. Es clasificado como un clima extremo porque sus diferencias térmicas (medias mensuales) superan los 7°C.

Los climas cálidos y semicálidos (A) prevalecen en la región de la Sierra Madre Oriental, donde hay variaciones de altitud considerables, que aunadas a la humedad atmosférica y a las temperaturas, entre otros factores, favorecen la presencia de fenómenos meteorológicos complejos. De norte a sur se presenta una graduación térmica que va de cálida a fría. El clima Cálido Subhúmedo con Lluvias en Verano A(w) abarca áreas que pertenecen a los municipios de Arroyo Seco y Jalpan de Serra. Las lluvias en esta zona son de carácter veraniego y presentan precipitaciones anuales

que alcanzan 850 mm. El mes más cálido es mayo y el más frío diciembre. Este clima se considera extremo debido a que su oscilación térmica es superior a 7°C. El clima Semicálido Subhúmedo con Lluvias en Verano AC(w) tiene una temperatura media anual de 18°C. Con diferentes grados de humedad, comprende parte de los municipios de Arroyo Seco, Jalpan de Serra, Pinal de Amoles y Landa de Matamoros. La precipitación total anual fluctúa entre 773 y 1270 mm (INEGI, 2009).

5.5 Hidrología

La entidad registra escasa precipitación, debido a la barrera geográfica que forma la Sierra Gorda, que la divide en dos vertientes o regiones hidrológicas: la región del Pánuco y la región Lerma-Santiago (cuadro 3).

Cuadro 3. Regiones y cuencas hidrológicas

del estado de Querétaro

Región	Cuenca	%*
Pánuco	Río Moctezuma	54,90
	Río Tamuín	23,71
Lerma-Santiago	Río Laja	19,61
	Río Lerma-Toluca.	1,69

Fuente: INEGI, 2009. Anuario estadístico del estado de Querétaro

*Porcentaje de la superficie estatal

La cuenca del río Moctezuma, es la más extensa y tiene como principal corriente al río del mismo nombre, que se origina en el Estado de México, en donde se conoce como Santiago de Jerónimo, Arroyo Zarco y finalmente en la entidad como río San Juan que al unirse con el río Tula, que viene del Estado de Hidalgo cambia de nombre a río Moctezuma. Aguas abajo, se le une el río Extóraz que tiene como afluentes a los ríos Victoria, Toliman y Colón.

La cuenca del río Tamuín, nace al norte del poblado de Tamuín en San Luis Potosí y aunque no penetra a territorio queretano recibe aportaciones de los ríos Santa María, Jalpan y Ayutla, entre otros; el aprovechamiento de las corrientes es mínimo, debido a lo accidentado del relieve, lo que origina corrientes muy fuertes.

La comunicación de estas aguas con el Golfo de México se da a través del río Pánuco en la costa de Tamaulipas.

En la vertiente del Océano Pacífico, el río Laja tiene su origen en el vecino estado de Guanajuato y la mayor parte de su recorrido lo realiza en esa entidad; en Querétaro le tributan los ríos El Pueblito, Juriquilla y La Soledad, entre otros; sus escurrimientos son escasos y poco caudalosos (Consejo de Recursos Minerales, 1992).

La comunicación de esta agua con el Océano Pacífico se realiza a través del río Santiago en las costas de Nayarit.

El Gobierno del estado de Querétaro (2001) reportó que el aprovechamiento de aguas superficiales en la entidad era de 302.99 millones de metros cúbicos (Mm^3) que se almacenaban en presas y bordos para riego y abrevadero.

La entidad recibió, en 1998, un volumen promedio anual de lluvias de 6,988 Mm^3 de los cuales 851 escurrieron superficialmente y 6,137 se perdieron por evotranspiración e infiltración (Gobierno del estado de Querétaro, 1999).

Se tienen además cuatro manantiales de importancia: Taxhidó, El Salitrillo y Ayutla en el municipio de Arroyo Seco, el manantial de Higueras en el municipio de Peñamiller y 129 manantiales pequeños.

El volumen anual de aprovechamiento, en el estado, tanto de fuentes superficiales como subterráneas es de 1,045.79 Mm^3 , de los cuales, el sector agropecuario requiere 83%, en tanto que el 16% se canaliza a agua potable y servicios y 1% se destina a la industria (Gobierno del estado de Querétaro, 2001).

Los acuíferos del estado de Querétaro son la fuente que sustenta en mayor medida al abasto en la entidad, al suministrar casi la totalidad del agua destinada a consumo humano, los principales son los de Querétaro, Buenavista, Amazcala, Huimilpan, San Juan del Río, Tequisquiapan, Amealco de Bonfil y Tolimán.

Los acuíferos más explotados corresponden a San Juan del Río y Querétaro, en donde se ubica la mayor parte de la población de la entidad y la más importante actividad industrial.

La distribución de las regiones y cuencas hidrológicas del estado de Querétaro se pueden apreciar en el mapa de la figura 6.



Figura 6. Cuencas y Regiones hidrológicas del estado de Querétaro.

5.6 Edafología

Como resultado de la estructura orográfica, el clima y la vegetación, en el estado existen 4 tipos de suelos (INEGI, 2008): los que se presentan en los Valles de San Juan del Río, Querétaro, Pedro Escobedo, Corregidora y El Marqués son denominados negros o chernozem, que se han formado con materiales de origen residual, aluvial y coluvial, y contienen abundante materia orgánica. Son profundos, de 3 a 6 m; se dan en terrenos planos o con poca pendiente y son de fertilidad adecuada para la producción agrícola intensiva, con climas templados y lluvias o humedad regular.

En la parte central del estado existen suelos Kastanozems con Regosoles y Feozems, de capas delgadas de 50 cm de profundidad, con bajo contenido de materia orgánica, limitados por un sustrato calizo, rocoso o por tepetate, con climas secos y baja o mínima precipitación pluvial.

En la región de Jalpan, al Norte de la entidad y en Amealco, al extremo Sur, los suelos se han derivado de rocas sedimentarias fundamentalmente calizas. Los tipos de suelo se denominan suelos complejos de montaña o Litosoles cuando se encuentran en pendientes mayores de 35° y denominados Feozem y Vertisol, de fertilidad baja a mediana. En menores pendientes dominan suelos con razonable cantidad de materia orgánica y subsisten en lugares con clima de templado a frío con lluvias abundantes. También en esta región, concretamente en el municipio de Landa de Matamoros, se localiza el tipo de suelo llamado rendzina con Luvisoles y Cambisoles; son someros, de textura fina y subyacen a una capa calcárea de roca o tepetate, localizándose en laderas y en climas cálidos con abundantes lluvias.

5.7 Vegetación y uso del suelo.

Según el INEGI (2009) la agricultura en la entidad es tanto de riego como de temporal, se cultiva alfalfa, maíz forrajero, chile, sorgo para grano, cebada, vid, frijol, trigo, jitomate, lenteja, haba, avena, maguey y nogal, entre otros.

La figura 7 muestra el uso del suelo y la vegetación del estado y su porcentaje de superficie con respecto a la superficie estatal.

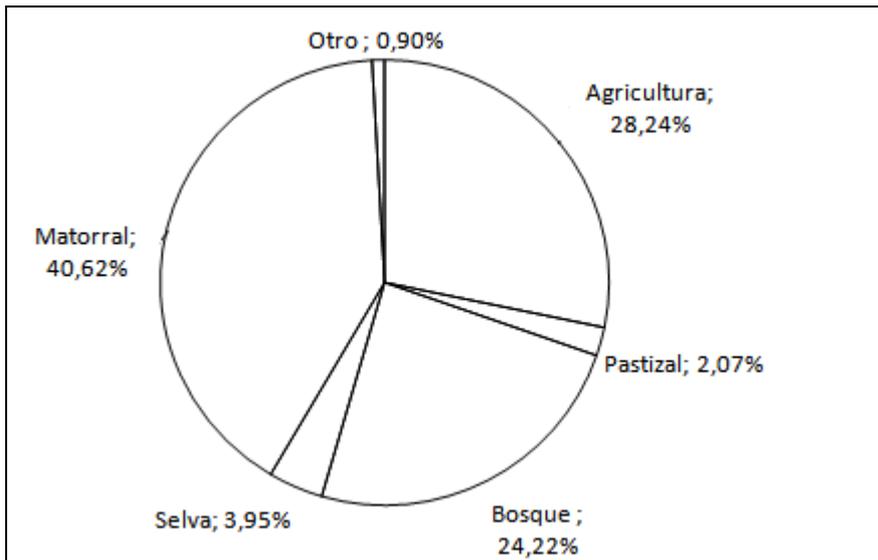


Figura 7. Porcentajes superficiales de la vegetación y uso del suelo en Querétaro.
Fuente: *Enciclopedia de los municipios de México (2009)*

En la Subprovincia de las Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, predomina el matorral crasicuale (garambullo, huizache, nopal) y abarca 26% del área total de la misma. Otra importante comunidad presente en esta zona es el pastizal tanto natural como inducido.

También existe el matorral subtropical, bosque de encino, chaparral y en muy pequeños manchones, bosques de pino-encino y encino-pino.

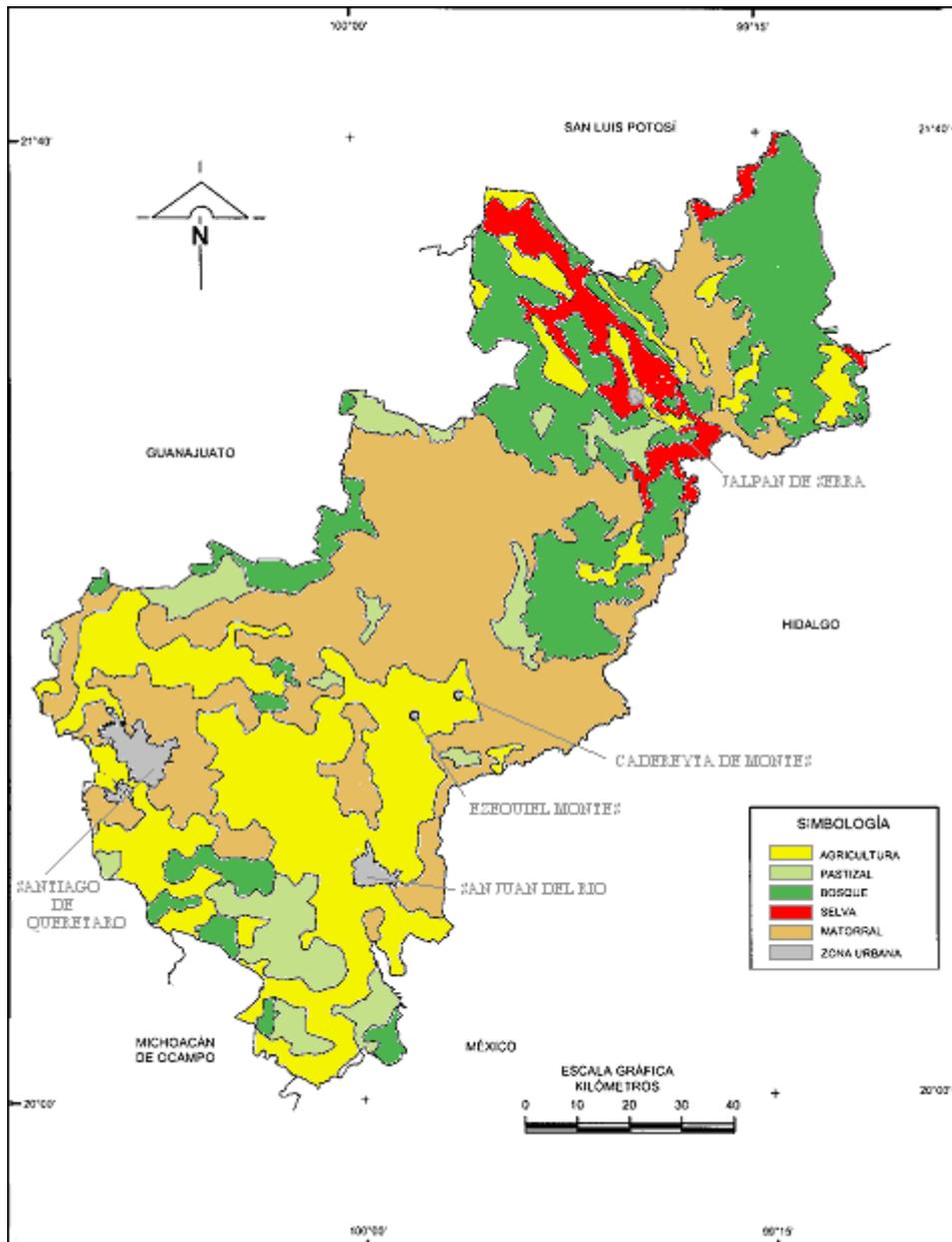
En la Subprovincia Mil Cumbres, sobresale el bosque de encino, también se encuentran presentes bosques de pino-encino y de encino-pino, así como pastizal tanto natural como inducido, matorral crasicuale, matorral subtropical y elementos aislados como nopal y mezquite, entre otros.

En la Subprovincia de los Lagos y Volcanes de Anáhuac se desarrolla principalmente el bosque de pino-encino.

En la Subprovincia del Carso Huasteco se presentan bosques, matorrales (submontano, desértico micrófilo y crasicuale), selva baja caducifolia y pastizal. Entre los bosques predomina el de encino, también se encuentran bosques de encino-pino, pino-encino y en una proporción muy pequeña el bosque de pino.

En la Subprovincia de las Sierras y Llanuras del Norte de Guanajuato abunda el matorral crasicuale (nopal chuparroso, nopal cardón, ocotillo, huizache, tronadora, sangregado y otros), también existen bosques de pino-encino, encino y en menor proporción de encino-pino y oyamel. Existen igualmente algunas áreas con pastizal inducido, chaparral y matorral (submontano y desértico tanto rosetófilo como micrófilo).

A continuación, en la figura 8, se aprecia la distribución de la vegetación y el uso del suelo en el estado.



Fuente: Anuario estadístico de Querétaro de Arteaga, INEGI, 2008.

Figura 8. Vegetación y uso del suelo en el estado de Querétaro

6 Materiales y métodos.

6.1 Materiales.

En el presente estudio se ocupó el registro pluviométrico de 42 estaciones meteorológicas de Querétaro y 27 de los estados vecinos con el fin de obtener una base de datos de precipitación mensual y anual. Las estaciones meteorológicas fueron seleccionadas de acuerdo a su antigüedad de registro, cumpliendo con al menos 30 años de registros continuos.

Para la representación espacial de los diferentes índices de erosividad que aquí se obtuvieron, se procesó la información en un Sistema de Información Geográfica. En este caso se trabajó con ArcView 3.2 de ESRI.

El material cartográfico digital para ingresar al SIG, fue la información del estado contenidas en los temas “curvas de nivel” y “marco geoestadístico municipal” de las cartas F14-7, F14-8, F14-10 y F14-11, 1:250000 del INEGI, proporcionadas por el Instituto de Geografía de la UNAM.

6.2 Métodos.

Una vez elaborada la base de datos de precipitación se calcularon en una hoja de Excel las fórmulas generales para obtener el valor de agresividad pluvial y concentración de las precipitaciones. Después se aplicaron las fórmulas para obtener los valores de erosividad mensuales correspondientes a cada estación meteorológica.

Los valores obtenidos se introdujeron al Sistema de Información Geográfica y se obtuvieron los mapas de erosividad de la lluvia y concentración de las precipitaciones. Lo mismo se hizo con los valores mensuales para obtener los mapas de erosividad y distribución a lo largo del año.

6.3 Base de datos de la precipitación en Querétaro.

Para el presente estudio se tomaron las medias históricas de precipitación de cada una de las 42 estaciones meteorológicas del estado de Querétaro y 27 estaciones repartidas en los estados vecinos de San Luis Potosí, Guanajuato, Michoacán, Estado de México e Hidalgo (figura 9) ubicadas cerca del margen estatal con el fin de proporcionar una información más detallada en los bordes del Estado que son influenciadas por las condiciones vecinas. Las estaciones tienen una antigüedad de 30 años de registro diario de precipitación y pertenecen a la Comisión Nacional del Agua, dependencia del Servicio Meteorológico Nacional (CNA-SMN, 2008). El cuadro 4, en la página siguiente, muestra el listado de las estaciones meteorológicas utilizadas en el presente estudio, así como información que se refiere a las mismas estaciones de la figura 9

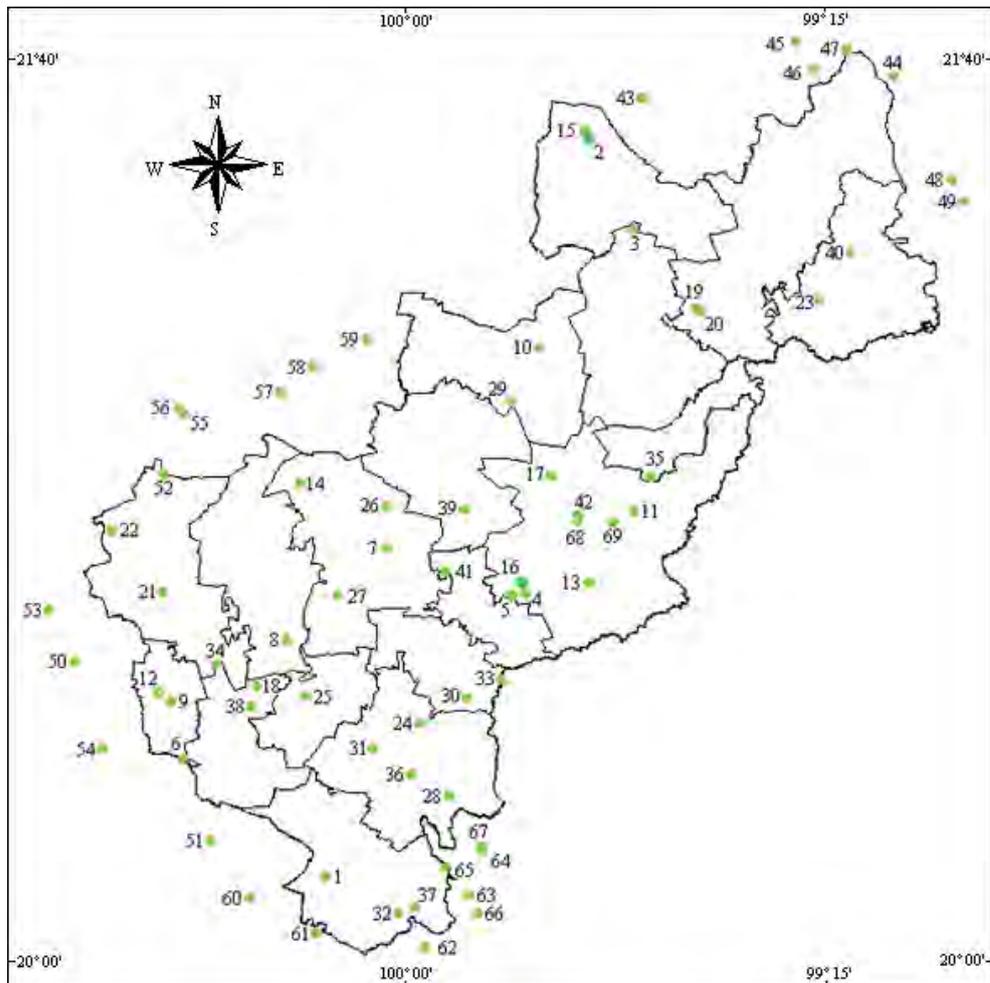


Figura 9. Distribución geográfica de las estaciones meteorológicas.

ESTACION	NOMBRE	MUNICIPIO	CLAVE	LAT			LON			ALT
				o	'	"	o	'	"	
1	AMEALCO	AMEALCO DE BONFIL	22001	20	11	5	100	8	44	2640
2	ARROYO SECO	ARROYO SECO	22036	21	32	54	99	41	19	990
3	AYUTLA	ARROYO SECO	22002	21	21	55	99	35	25	950
4	CADEREYTA	CADEREYTA DE MONTES	22003	20	41	59	99	48	40	2000
5	CADEREYTA DE MONTES (DGE)	CADEREYTA DE MONTES	22021	20	42	0	99	49	0	2040
6	CEJA DE BRAVO	HUIMILPAN	22050	20	23	54	100	25	27	2120
7	COLÓN	COLÓN	22026	20	47	8	100	2	43	1920
8	COYOTILLOS	EL MARQUES	22043	20	37	0	100	14	0	1915
9	EL BATÁN	CORREGIDORA	22004	20	30	15	100	25	28	1881
10	EL COMEDERO	PEÑAMILLER	22051	21	8	54	99	46	44	1880
11	EL DOCTOR	CADEREYTA DE MONTES	22005	20	51	2	99	35	16	2500
12	EL PUEBLITO	CORREGIDORA	22006	20	31	19	100	26	53	1826
13	EL SALITRE	CADEREYTA DE MONTES	22054	20	43	9	99	41	33	2060
14	EL ZAMORANO	COLÓN	22049	20	54	15	100	12	42	2590
15	GALINDO	SAN JUAN DEL RÍO	22028	21	32	54	99	41	19	1960
16	GUILLEN	PEÑAMILLER	22062	20	41	59	99	48	40	1370
17	HIGUERILLAS	CADEREYTA DE MONTES	22056	20	54	52	99	45	47	1580
18	HUIMILPAN	HUIMILPAN	22029	20	23	2	100	16	50	2250
19	JALPAN	JALPAN DE SERRA	22008	21	13	17	99	28	39	760
20	JALPAN (DGE)	JALPAN DE SERRA	22007	21	13	0	99	28	0	860
21	JURIQUILLA	QUERÉTARO	22045	20	42	16	100	27	34	1885
22	LA JOYA (SANTA ROSA DE JÁUREGUI)	QUERÉTARO	22041	20	48	53	100	33	0	2400
23	LA LAGUNITA	LANDA DE MATAMOROS	22019	21	14	32	99	15	37	1050
24	LA LLAVE	SAN JUAN DEL RÍO	22042	20	27	51	99	59	29	1910
25	LA PALMA	PEDRO ESCOBEDO	22009	20	31	0	100	11	0	1962
26	LA SOLEDAD	COLÓN	22068	20	51	12	100	3	43	1750
27	NOGALES	COLÓN	22046	20	41	55	100	8	39	2030
28	PALLMILLAS	SAN JUAN DEL RÍO	22030	20	20	0	99	56	0	1770
29	PEÑAMILLER (SMN)	PEÑAMILLER	22012	21	3	18	99	48	52	1325
30	PRESA CENTENARIO	TEQUISQUIAPAN	22025	20	30	47	99	54	0	1912
31	PRESA CONSTITUCIÓN	SAN JUAN DEL RÍO	22032	20	25	8	100	4	20	1925
32	PRESA EL CAPULÍN	AMEALCO DE BONFIL	22047	20	7	0	100	2	0	2400
33	PRESA PASO DE TABLAS	TEQUISQUIAPAN	22031	20	32	37	99	50	21	1880
34	QUERÉTARO (DGE)	QUERÉTARO	22063	20	34	13	100	22	11	1813
35	SAN JOAQUÍN	SAN JOAQUÍN	22016	20	54	58	99	33	54	2200
36	SAN JUAN DEL RÍO	SAN JUAN DEL RÍO	22022	20	22	27	99	59	54	1945
37	SAN PABLO	AMEALCO DE BONFIL	22033	20	7	42	99	59	48	2400
38	SANTA TERESA	HUIMILPAN	22058	20	29	31	100	18	12	2040
39	TOLIMÁN	TOLIMÁN	22017	20	51	26	99	53	59	1520
40	TRES LAGUNAS	LANDA DE MATAMOROS	22024	21	19	31	99	12	15	1870
41	VILLA BERNAL	EZEQUIEL MONTES	22034	20	44	30	99	56	30	2050
42	VIZARRÓN	CADEREYTA DE MONTES	22035	20	50	2	99	42	13	2025
43	LAGUNILLAS	LAGUNILLAS	24035	21	34	0	99	35	0	1970
44	TAMAPATZ	AQUISMON	24082	21	36	45	99	7	0	725
45	TANLACUT	SANTA CATARINA	24086	21	40	30	99	17	30	272
46	TANLU	SANTA CATARINA	24136	21	38	0	99	15	30	450
47	TANZABACA	TAMASOPO	24090	21	39	30	99	12	0	196
48	TLAMAYA	XILITLA	24125	21	25	51	99	0	30	720
49	XILITLA	XILITLA	24105	21	23	8	98	59	26	750
50	AMECHE	APASEO EL ALTO	11105	20	33	16	100	35	4	1790
51	CORONEO	CORONEO	11012	20	11	54	100	21	48	2271
52	EL CHARAPE	SAN JOSÉ ITURBIDE	11144	20	54	54	100	25	58	2200
53	EL OBRAJE	APASEO EL GRANDE	11148	20	40	6	100	38	29	2010
54	EL TERRERO	APASEO EL ALTO	11022	20	22	5	100	33	15	2022
55	SAN JOSÉ ITURBIDE (DGE)	SAN JOSÉ ITURBIDE	11088	20	59	52	100	23	7	2099
56	SAN JOSÉ ITURBIDE (SMN)	SAN JOSÉ ITURBIDE	11066	21	0	0	100	24	0	1870
57	STA. ROSA MINERAL	SANTA CATARINA	11073	21	2	5	100	12	40	2571
58	TIERRA BLANCA	TIERRA BLANCA	11119	21	5	58	100	9	21	1760
59	XICHU	XICHU	11083	21	8	0	100	3	20	1310
60	EPITACIO HUERTA	EPITACIO HUERTA	16233	20	8	57	100	17	50	2035
61	TEMASCALES	CONTEPEC	16124	20	3	3	100	8	58	2409
62	AGOSTADERO	ACAMBAY	15194	20	2	54	99	59	41	2691
63	LA CONCEPCIÓN	ACULCO	15189	20	8	48	99	54	53	2320
64	POLOTITLAN	POLOTITLAN	15069	20	13	9	99	50	45	2333
65	PRESA SAN ILDEFONSO	ACULCO	15190	20	11	51	99	57	23	2130
66	SAN LUCAS TOTOLMALOYA	ACULCO	15260	20	5	3	99	54	25	2380
67	TAXHIE	POLOTITLAN	15192	20	13	32	99	53	21	2260
68	ENCARNACIÓN	ZIMAPAN	13065	20	49	24	99	43	18	2140
69	ZIMAPAN	ZIMAPAN	13044	20	49	25	99	39	25	800

Cuadro 4. Listado de las estaciones meteorológicas.

6.4 Obtención de la Cartografía de la erosividad de la lluvia con el IMF

6.4.1 Obtención del índice IMF

El Índice Modificado de Fournier, IMF, (Arnoldus, 1980) considera tanto los efectos de la concentración mensual de la lluvia como la altura de la misma, por lo que puede ser considerado como un índice de agresividad pluvial (De Luis et al, 1997). Teniendo una vez los datos ordenados en la base de datos, la fórmula se aplicó a los datos de cada una de las 69 estaciones meteorológicas consideradas. La fórmula se describe a continuación:

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P_i} \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

IMF es el Índice Modificado de Fournier

p_i es la precipitación media mensual

P_i es la precipitación media anual

Como ya se mencionó, los datos se procesaron en una hoja de cálculo de Excel. Los valores obtenidos aparecen en la sección 7.3.1 de los resultados y fueron clasificados conforme al cuadro 5, clasificación propuesta por CORINE-CEC (1992), para describir la agresividad de las precipitaciones.

<i>Clase</i>	<i>IMF(mm)</i>	<i>Descripción</i>
1	<60	Muy Baja
2	60-90	Baja
3	90-120	Moderada
4	120-160	Alta
5	>160	Muy Alta

Cuadro 5. Clasificación de los valores del índice IMF según CORINE-CEC (1992)

6.4.2 Obtención de la distribución temporal de la erosividad (IMF_i)

La cantidad de lluvia varía en el espacio y en el tiempo (Taboada, *et al* 1993), por eso es necesario entender y analizar la variabilidad de la lluvia en ese tiempo y en ese espacio para evaluar el potencial erosivo de las lluvias y su posible impacto en la erosión del suelo, como sugieren Apayadin, *et al*, (2006).

Con el objetivo de estimar la incidencia de la precipitación de cada mes en la erosión del suelo se calculó la erosividad de la lluvia mediante la fórmula de Fournier, pero computando sólo los datos correspondientes a cada mes por separado, como proponen Jordán y Bellinfante (2000), utilizando la siguiente ecuación:

$$IF_i = \frac{p_i^2}{P} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

IF_i es el índice de agresividad pluvial del mes i .

p_i es la precipitación media del mes i .

P es la precipitación anual media.

Los resultados se encuentran en el apartado 7.3.3

6.4.3. Tratamiento de los datos en el Sistema de Información Geográfica

Una vez obtenidos los valores del IMF y los índices mensuales (IMF_i) en Excel, se guardó la hoja de cálculo como archivo de texto para poder importarlo desde ArcView, previamente anexando a la hoja de cálculo la información de las coordenadas para georeferenciar las estaciones en el programa.

Posteriormente la tabla importada de Excel fue adicionada a la vista del mapa municipal de Querétaro para ubicar las estaciones en el estado.

Para obtener información lo más completa posible sobre la distribución de la agresividad de la lluvia en Querétaro se realizó una interpolación de los valores del IMF asociados a cada estación meteorológica. La interpolación es un proceso que usa valores de datos conocidos para predecir valores desconocidos. La interpolación es con frecuencia utilizado con datos puntuales para crear valores sobre una superficie (Delaney y Van Niel, 2007). Usando la extensión de ArcView *spatial analyst* se llevó a cabo la interpolación. El método de interpolación utilizado en esta tesis fue IDW (*Inverse Distance Weighted*; Watson y Phillip, 1985), según el cuál el "peso" de cada estación en un punto determinado disminuye frente a los demás con la distancia. La exactitud del método de interpolación es mayor cuanto mayor es la densidad de muestreo (Jordán y Bellinfante, 2000).

Mediante tales interpolaciones se crearon las isolíneas de erosividad con la herramienta *create contour*, dando un intervalo de línea de 30 unidades para los valores del IMF y la cartografía de la distribución espacial con la herramienta *interpolate grid*.

Después se reclasificaron los valores debido a que el número de rangos resultantes era difícil de interpretar en el mapa. Para esto se utilizó la herramienta *reclassify* de la extensión *spatial analyst*, ajustando los valores en 5 clases, a fin de coincidir con los criterios del cuadro 5, mostrado anteriormente.

Adicionalmente, y con fines comparativos, se realizó el mismo procedimiento para obtener el mapa de distribución espacial de precipitación con la información de las medias de precipitación anual para cada estación.

6.5 Obtención de la cartografía de la concentración de las precipitaciones.

6.5.1. Obtención del índice ICP

El Índice de la Concentración de las precipitaciones se obtiene a partir de precipitaciones mensuales y anuales. Inherente al método, los valores obtenidos oscilan entre un rango mínimo de 8.3, para casos de igual precipitación mensual, y 100, en el extremo caso de que la lluvia se concentre en un solo mes, independientemente del volumen de precipitación. Con base en esto, el ICP se estimó a partir de la base de datos con información pluvial anual y mensual de todas las estaciones meteorológicas estudiadas. En la hoja de cálculo se aplicó la fórmula propuesta por Oliver (1980):

$$ICP = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P^2} \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

ICP es el Índice de Concentración de las Precipitaciones, expresado como porcentaje.

p_i es precipitación mensual.

P es precipitación anual.

Oliver considera como distribución uniforme de las lluvias los valores inferiores a 10 y de estacionalidad moderada a los que se encuentran entre 11 y 20, a partir de 20 las diferencias van definiendo concentraciones cada vez más marcadas. Sin embargo, para matizar un poco más los rangos del índice los resultados fueron clasificados según el criterio que proponen Lobo *et al* (2005) y que se muestra en el cuadro 6.

<i>ICP (%)</i>	<i>Descripción de la concentración</i>
8.3-10	Uniforme
10-15	Moderadamente estacional
15-20	Estacional
20-50	Altamente estacional.
50-100	Irregular.

Cuadro 6. Clasificación de los valores del índice ICP, según Lobo, *et al* (2005).

6.5.2. Obtención de la distribución temporal de la concentración de las precipitaciones (ICP_m)

Según el propio creador del ICP, Oliver (1980), el principal inconveniente de este índice radica en el hecho de que no establece el mes y/o estación de máximas precipitaciones, es decir, el periodo en el que se concentran las precipitaciones. Ante esta situación sugiere la aplicación de un “segundo índice, valor o símbolo” que permita delimitar de una manera u otra la estacionalidad. Por tanto, Pascual *et al* (2001) proponen unos índices utilizando los resultados del PCI junto con las medias de cada mes de la serie anual. Con ellos se asume una mejor definición de la concentración del ICP, para obtener mayor información de su distribución mensual. La fórmula es la siguiente y su cálculo se basa en criterios de estadística descriptiva:

$$ICP_m = pi/(P/12)*ICP \quad \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

ICP_m : Índice de Concentración mensual de la Precipitación.

pi : precipitación del mes correspondiente

P : precipitación anual.

ICP : Índice de Concentración de la Precipitación.

Hay que hacer notar que los valores obtenidos para los ICP_m deben asociarse siempre con su ICP anual, pues los mensuales relacionan el índice de precipitación mensual con la teórica distribución completamente homogénea de las precipitaciones. Es así un ajuste para obtener mayor información intramensual del ICP original, por tanto su rango de valores se asocia con los anuales por medio de los índices de precipitación.

6.5.3. Tratamiento de los datos en el Sistema de Información Geográfica

Al igual que con los índices de agresividad pluvial, el ICP y el ICP_m se guardaron como archivo de texto en una hoja de Excel para importarlos desde Arcview con las coordenadas geográficas respectivas de cada estación.

La base de datos, ya importada en Arcview se adicionó a la vista del mapa municipal de Querétaro y se procedió a interpolar los valores obtenidos de las estaciones con el mismo método anterior del *Inverso de la Distancia al Cuadrado (IDW)*.

Se crearon las isolíneas de concentración de las precipitaciones con el comando *create contour* que se encuentra dentro de la extensión *spatial analyst*, y el mapa de distribución con *interpolate grid* con la misma extensión.

Los valores del ICP y el ICP_m fueron reclasificados acorde con los criterios propuestos por Lobo *et al* (2005) mostrados anteriormente en el cuadro 6 para la descripción de la concentración de las precipitaciones y su estacionalidad.

7 Resultados.

7.1 Base de datos de la precipitación media por estación meteorológica.

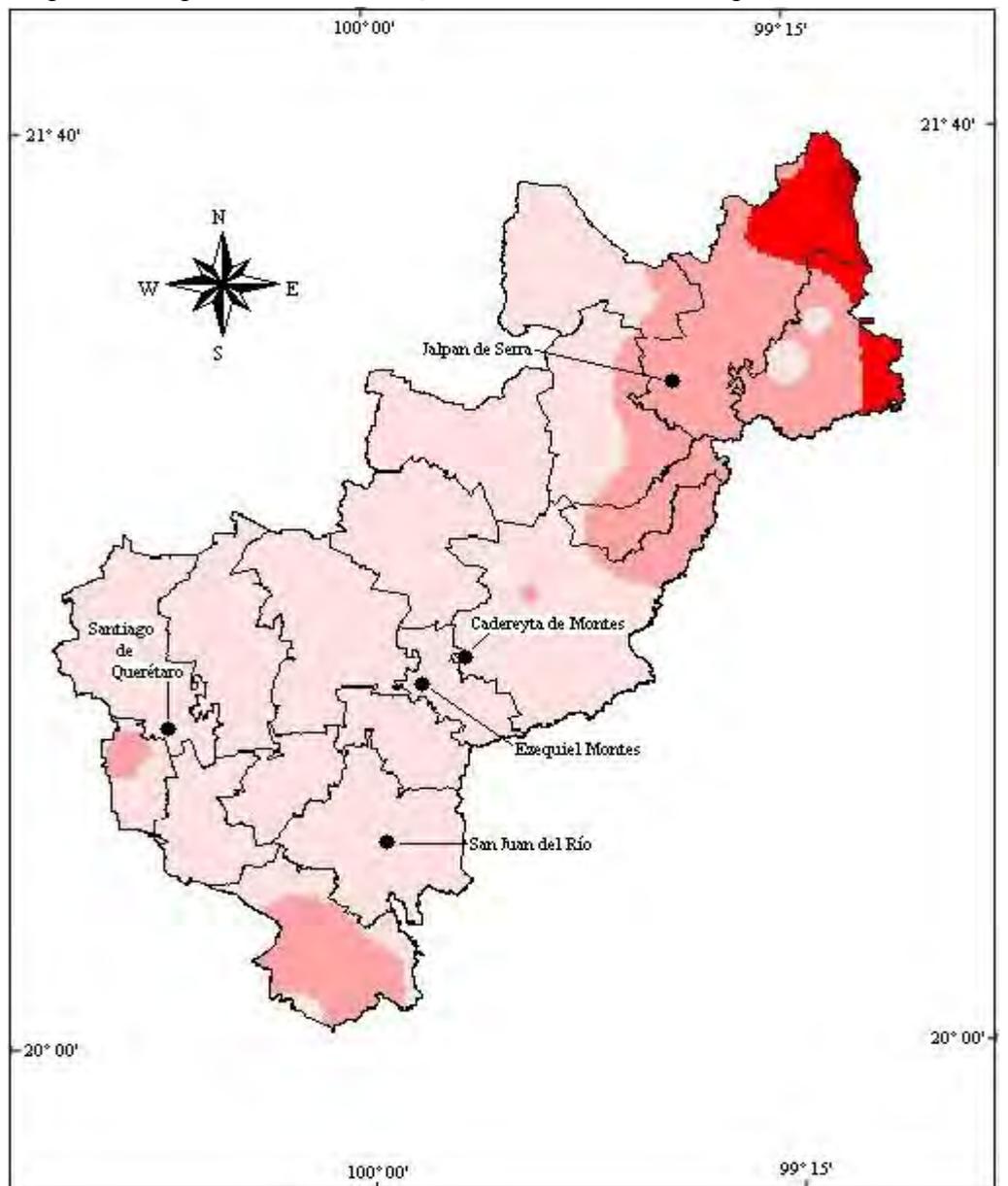
El cuadro 7 muestra la base de datos obtenida con las medias históricas de las 69 estaciones meteorológicas del área de estudio. A partir de estos registros se obtuvieron los índices de erosividad con la metodología citada anteriormente.

Cuadro 7. Base de datos de la precipitación media por estación meteorológica.

Estación Meteorológica Clave	Precipitación media												Annual
	Mensual												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
22001	16.5	13.5	11.5	23.5	87.6	158.8	246.9	199.6	168.1	46.5	10.3	12.1	994.9
22036	14.6	5.9	5.6	24.8	39.5	76.5	72.8	64.5	139.4	49.6	14.6	10.5	518.3
22002	9.1	5.6	14	23.6	44.3	119.9	105.1	104.3	194.3	60.5	13.4	8	702.1
22003	11.5	6.9	9.7	16	47.9	91.3	83.4	56.8	80.3	33.5	7.8	4.4	449.5
22021	15.5	7.1	11.8	16	54	96.3	94.5	81.1	74.7	35.4	10.4	6.9	503.7
22050	6.7	5.3	4.1	12.9	44.6	109.8	141.7	134.9	60.4	52.4	13.3	5.8	591.9
22026	12.8	5.2	8.3	24.6	37.4	69.7	97.1	70.6	59.4	34.4	10	10.6	440.1
22043	9.2	6.2	4.9	19.7	35.8	92.9	129.6	81.6	50	39	9.2	6.3	484.4
22004	14.1	6.9	7.5	17.5	41.8	120.9	163.1	124.1	100.3	40.6	14.5	10	661.3
22051	8.5	5.8	9.7	23.3	34.5	70.9	61.7	59	86.4	38.9	7.2	3.7	409.6
22005	19.3	11.3	13.3	30.6	59.4	136.3	125.7	121.4	163.5	79.4	21.1	13.2	794.5
22006	26.3	11.5	12.4	31	64.1	206.6	259.2	217	188.3	70.6	22	17.5	1127
22054	6.1	4.2	3.2	17.4	33.9	30.2	67.7	37	30.4	16	8	0.6	254.7
22049	19.6	9.7	9.1	33.5	50.3	100.7	137	94	87.2	52.8	15.3	13.4	622.6
22028	11.9	5.7	5.9	23.5	48.4	112.7	161.6	107.5	95.6	46.8	12.2	5.8	637.6
22062	5.7	5.1	8.9	24.1	51.9	54.9	58.4	69.5	72.4	46.7	6.9	3.6	408.1
22056	7.6	4.9	5.2	26.6	28.8	45.4	52.2	45.3	56.8	30.6	9.7	3.8	316.9
22029	21.1	12	6.5	25.7	48.9	135.1	207.2	143.7	103.1	57.4	13	4.3	778
22008	10.4	6.5	13.5	28.6	47.7	175.2	177.6	155.8	167.3	72.9	24.2	7.9	887.6
22007	17	7.8	15	24.6	58.9	195.2	192	164.9	192.9	81.1	20.5	15.1	985
22045	14.1	4.8	5.8	20.6	43.4	94.6	103.4	105.5	72.6	30.5	15.7	9.9	520.9
22041	12.2	10.2	8.5	19.2	44.1	125.4	134.4	108.6	78.3	41.4	7.9	12.2	602.4
22019	14.2	12.9	12.6	22.5	37.8	118.3	102.1	104.5	149.5	75.6	35	19.6	704.6
22042	8.2	3.4	5.9	14.1	31.1	65	87.6	84.6	52.7	27.1	8.3	5.5	393.5
22009	16.7	5.2	8.3	16.2	40.6	109.2	157.5	107	94.4	40.3	10.1	11.6	617.1
22068	9.6	3.1	4.5	12.3	41.1	73.3	53.9	66.6	86.3	31.9	8.7	10.1	401.4
22046	8.9	4.3	5.4	13.7	29.2	73.5	91.2	66.7	36.8	28.6	5.2	4.8	368.3
22030	9.8	8.3	10.5	27.1	53.1	101.9	130.3	113.3	89.2	50.6	9.4	5	608.5
22012	10.1	4.4	6.2	30.7	48.1	59.4	59.5	53.2	62.8	30.8	7.5	4.4	377.1
22025	11.8	5.6	7.5	17.1	39.5	83.1	100.2	82.3	75.4	34.3	8.5	7.2	472.5
22032	15.2	6.6	5.6	17.8	45	106.1	155.4	103.2	84.7	44	8.3	6.9	598.8
22047	12.6	9	7.2	21.1	44.4	132.3	180.3	164.3	157.2	62	15.8	4.9	811.1
22031	12.7	6	7.9	22.6	42.5	90	98.5	83.9	82.5	34.9	9.2	7	497.7
22063	15.1	7.6	3.9	13.1	44.8	98.5	128.7	80	70.9	38.1	9.4	11.2	521.3
22016	28.2	20.5	29.7	28.5	85	255.5	190.3	250.8	218.3	116	37.8	24.9	1286
22022	11	8.8	67.8	16.6	41.9	85.7	106.6	91.1	72.6	43.7	63	57.7	666.5
22033	15.7	10.5	9	21	57	140.1	192.5	175.8	143.9	66.3	19.1	8.7	859.6
22058	1.6	1.5	5.4	9.4	22.1	62.3	87.8	78	60.7	36.2	10.1	6.8	381.9
22017	5	5.4	14.4	18.8	45.1	64.4	63.6	41.3	45.5	32.4	11.9	4.5	352.3
22024	10	6.5	5.8	30.2	40.8	116.1	119.6	110.4	184.8	60.4	19.7	14	718.3
22034	8.4	6.3	10.7	24.7	41.9	75.9	105.9	82.9	64.2	31.3	11	5	468.2
22035	13.5	7.7	10.3	25.9	45.8	77.9	85.9	61.1	74.8	31.1	11.9	8.2	454.1
24035	13.4	5.8	8.8	22	38.2	113.7	82.7	95.1	193	71.7	17.1	13.1	674.6
24082	75	73.8	88.7	119.5	210.4	419.4	431.5	387.6	568.7	278.8	118.4	89.8	2862
24086	26.4	15.1	21.5	34.2	84.2	261.8	261	199.1	349.9	140.3	51.9	38	1483
24136	23.1	11.9	11.1	28.4	52.4	147.3	106.5	107.3	258.8	115.1	40	18.8	920.7
24090	23	19.4	21.1	36.2	82	309.8	292	259	424.6	177.7	52.6	33.6	1731
24125	89.3	61.8	79.4	161	183.9	493.8	517.5	444.7	501.5	272.4	123	80.7	3009
24105	62.7	63.3	72	125.7	191.5	404.6	451.4	422.2	553.3	262.2	110.7	65.5	2785
11105	10.6	4.4	5.5	10.7	24	100.5	131.8	112.2	89.5	36.9	10.1	5.8	542
11012	15.5	7.9	9.5	12.5	44.6	122.7	157.9	133.2	110.6	39.9	14.1	8.3	676.7
11144	11.5	12	3.7	19.1	31.1	63.7	88.5	60.9	63	25.7	9.9	4.5	393.6
11148	17.9	6.1	4.3	13.9	40.7	104	133.1	109.7	78.8	56.3	14.7	9.8	589.3
11022	13.9	6.5	6.5	16.5	40.8	122.8	154.5	128.1	108.3	46.8	13.4	7.7	665.8
11088	14	6.8	7.4	24.9	48.3	80.5	108.9	83.2	72	30.6	10.2	6.1	492.9
11066	14	6.8	7.4	24.9	48.3	80.5	108.9	84.9	72	30.6	10.2	6.1	494.6
11073	20.5	10.7	9.4	15.1	55.3	164.9	227.4	161.5	130	55.7	15.9	13.9	880.3
11119	10.4	8	3.9	13.7	35.5	54.7	78.4	58.4	50.5	24.5	8.5	5	351.5
11083	11.9	6	9.6	28.6	51.3	97.7	110.2	97.7	107.6	46	9.4	7.5	583.5
16233	5.8	6	6.7	22.3	67.3	127.4	173.8	138.1	109.5	44.8	15.9	9.2	726.8
16124	15.3	12.3	12	26.5	54.6	122.9	177.7	151.2	120.3	59	15.3	8.3	775.4
15194	21.2	11.3	4.8	21.4	70.1	135.5	222.9	169.9	122.9	59	12.9	8.6	860.3
15189	11.8	9.4	8.8	21.9	58.5	142.3	171.3	145.3	118.6	71.1	14.5	8	781.5
15069	14.6	8.7	11.9	27.2	62.6	122.1	150.2	113.6	101.6	54.7	17.2	10.7	695.1
15190	12.9	9.5	8.8	22.8	61.4	130	177.9	139.7	113.3	69.8	14.9	9.6	770.6
15260	16.8	10.7	11	27.3	55.9	118.7	163	128.1	106.2	63.3	16.9	10.2	728.1
15192	11.9	8.2	9.5	23	61.6	115.6	133.6	124	94.8	60.3	15.4	8.3	666.2
13065	20.9	14.2	16.2	29.9	50.4	150	162.8	154.6	222.8	116.1	38.4	16.3	992.6
13044	13.7	9.6	8.6	33.8	61.4	68.7	80.7	65.4	57.7	29.1	8.7	8.8	446.2

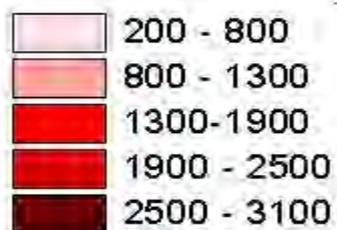
7.2 Precipitación media en Querétaro.

Mapa 1. Precipitación anual en Querétaro. Distribución espacial.



70 0 70 140 Kilometers

Precipitación anual en Querétaro (mm)



El mapa anterior muestra la distribución espacial de la precipitación media anual en el Estado. En estos mapas se observa que en la inmensa mayoría del territorio se registran precipitaciones anuales por debajo de los 1000 mm, siendo la región central la menos lluviosa, con registros de 400 mm a 600 mm desde Huimilpan, Querétaro y San Juan del Río hasta Cadereyta de Montes, Peñamiller y la mitad occidental de Pinal de Amoles, en el norte del Estado.

Al sur, en la provincia del Eje Neovolcánico se observa un aumento en las precipitaciones, particularmente en los municipios de Amealco de Bonfil y Corregidora, registrando alrededor de 800 mm, condición que Alvarado *et al* (2008) considera como un intervalo pluviométrico que acelera el proceso de erosión debido a que el régimen pluvial, aunado al proceso de evotranspiración en la región, es insuficiente para el desarrollo de una vegetación que disminuya el efecto que la lluvia produce en el suelo.

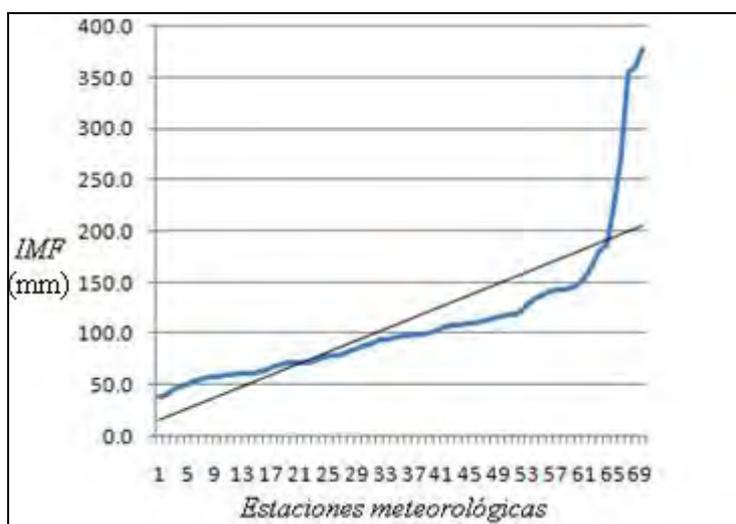
Al noreste de Querétaro es donde se registran las mayores precipitaciones anuales debido al régimen pluvial de la Sierra Madre Oriental en la región huasteca con precipitaciones de 1000 mm, 1500 mm y 2000 mm, aunque existen inclusive valores pluviométricos más altos.

Según el promedio mensual de la base de datos que se mostró con anterioridad en el cuadro 7, julio y septiembre son los meses con mayor volumen de lluvia, con 187 y 181 mm, respectivamente; mientras que febrero y marzo son los que tienen el menor volumen de lluvia recibida con 16 y 17 mm en promedio, respectivamente.

Por otra parte, es importante notar el aumento de las precipitaciones en las regiones que comprenden parte de las provincias fisiográficas de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico transversal debido, entre otros factores, al abrupto relieve que domina en el norte y sur del Estado y que parece tener relación entre la precipitación y la altitud.

7.3 Agresividad pluvial.

Se obtuvieron los valores de erosividad para cada estación meteorológica a partir de los datos pluviométricos y el Índice Modificado de Fournier propuesto por Arnoldus (1980). En la gráfica 1 se muestran los datos ordenados de las estaciones meteorológicas, se puede observar que el grueso de los valores de IMF se concentra entre 50 y 150, es decir, valores de baja, moderada y alta erosividad, aunque existen también valores de muy baja y muy alta erosividad, como se nota de mejor forma en los mapas correspondientes.



Gráfica 1. Valores IMF de las estaciones meteorológicas (ordenados de menor a mayor).

Se interpolaron los datos de cada estación para obtener el mapa 2, de distribución espacial de la erosividad en el estado de Querétaro.

Posteriormente se calcularon los índices mensuales según la fórmula citada por Jordán y Bellinfante (2000) para estimar la incidencia mes a mes de la agresividad de las lluvias en el área de estudio. Finalmente se interpolaron también los valores para cartografiar los resultados obteniendo así los mapas 3 al 14, que aparecen más adelante en el apartado 7.3.4.

7.3.1 IMF por estación meteorológica

En el cuadro 8 se muestran los valores del IMF para cada estación meteorológica. Los valores fluctúan desde 37 unidades en la estación 22054, El Salitre, al sur de Cadereyta de Montes, en la mesa central del Estado, hasta 377 en la estación 24125, Tlamaya, ubicada en Xilitla, municipio de la huasteca potosina colindante con Landa de Matamoros, al noreste de Querétaro.

Aunque son pocos los valores por encima de 160 (erosividad Muy Alta), estos influyen considerablemente al promediar los IMF de todas las estaciones. El valor promedio para el estado es de 110.7, que de acuerdo a la clasificación de CORINE-CEC (1992), se considera como erosividad moderada.

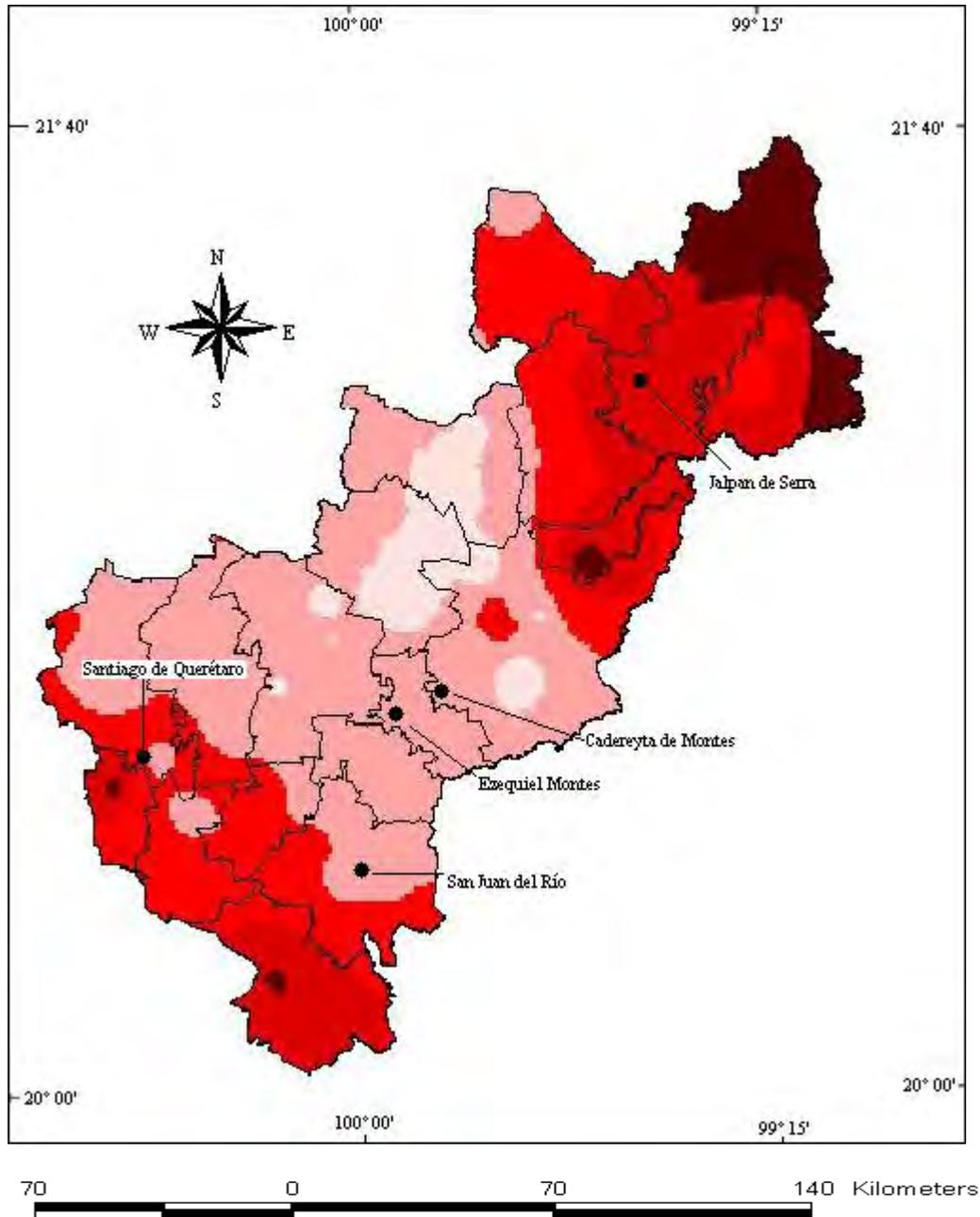
Debido a que la erosividad no es homogénea, los índices mensuales y su distribución ayudan a detallar el resultado promedio.

Cve. Est. Met	IMF	Cve. Est. Met	IMF	Cve. Est. Met	IMF
22001	166.4	22042	60.9	24090	273.5
22036	77.1	22009	99.2	24125	377.1
22002	115.1	22068	58.1	24105	360.0
22003	64.5	22046	58.5	11105	93.0
22021	70.2	22030	89.8	11012	109.9
22050	100.0	22012	48.5	11144	55.8
22026	60.1	22025	69.4	11148	89.1
22043	78.5	22032	96.7	11022	107.7
22004	107.4	22047	133.8	11088	70.5
22051	56.9	22031	71.5	11066	70.9
22005	110.7	22063	80.3	11073	146.9
22006	181.3	22016	184.9	11119	49.6
22054	37.8	22022	72.5	11083	83.6
22049	84.7	22033	136.4	16233	116.9
22028	101.9	22058	61.3	16124	118.7
22062	54.3	22017	44.9	15194	141.4
22056	40.2	22024	112.9	15189	120.7
22029	128.1	22034	67.7	15069	99.5
22008	139.6	22035	59.6	15190	117.7
22007	153.5	24035	109.5	15260	105.9
22045	76.6	24082	354.0	15192	96.3
22041	93.4	24086	223.9	13065	143.2
22019	95.8	24136	142.4	13044	56.3

Cuadro 8. Valores del Índice Modificado de Fournier obtenidos mediante la formula de Arnoldus (1980)

7.3.2 Cartografía de la distribución espacial de la erosividad de la lluvia

Mapa 2. Erosividad de la lluvia en Querétaro según el índice IMF. Distribución espacial.



Erosividad de la lluvia en Querétaro, según el IMF (mm)

	Muy Baja	(<60)
	Baja	(60-90)
	Moderada	(90-120)
	Alta	(120-160)
	Muy Alta	(>160)

El mapa 2 ilustra la distribución espacial de la erosividad en el Estado. Los resultados obtenidos reflejan una clara tendencia a incrementar la erosividad del centro hacia los extremos. En la imagen del mapa se muestra los niveles de erosividad en cada región ayudando a observar mejor el comportamiento del fenómeno en el espacio.

Mientras en el centro se encuentran valores de 60 y 90 unidades del índice, al sur, en los municipios de Huimilpan, Pedro Escobedo, y parte de los municipios de Querétaro y San Juan del Río los valores oscilan entre 90 y 120, considerados como valores de erosividad moderada; erosividad que se acentúa en los municipios de Corregidora y Amealco de Bonfil donde se alcanzan picos de 150 unidades del IMF.

Al norte y noreste, en la provincia de la Sierra Madre Oriental se encuentran las zonas con la erosividad de lluvia más severa, en los municipios de Pinal de Amoles, San Joaquín, Cadereyta y Arroyo Seco se alcanzan valores entre los 120 y los 160, considerados como de alta erosividad. Los municipios de Landa de Matamoros y Jalpan de Serra presentan un régimen de muy alta erosividad, según el IMF, con valores muy superiores a 120, llegando incluso a alcanzar 200, 250 y 300 unidades del índice, sobre todo en la franja oriental de ambos municipios.

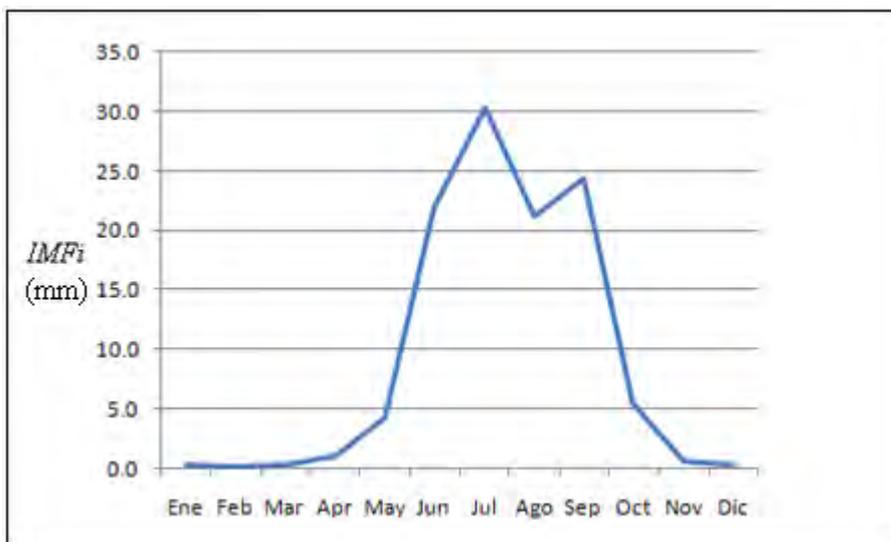
Cabe mencionar el uso que cada región otorga al suelo en las zonas clasificadas como de alta erosividad. Mientras que en los municipios del Sur, como Amealco y Corregidora, dedican sus tierras a la agricultura de riego y temporal, en el Norte y Noreste, donde se registra la mayor agresividad pluvial del estado, predominan los bosques de pino, encino, pino-encino, y selva mediana y alta. En estos casos, la amplia cubierta vegetal desarrolla un papel importante en la protección del suelo contra la erosión.

En los municipios de la franja central, Peñamiller, Cadereyta, Tolimán, Colón, y Ezequiel Montes, aunque los valores de erosividad son bajos, la condición pluvial escasa provoca que las tierras estén dominadas por matorral crasicaule, propias de ambientes semiáridos; sin embargo, también existen en esta región grandes extensiones agrícolas, sobre todo en Colón, Ezequiel Montes y Tequisquiapan.

7.3.3 IMF_i

El promedio de erosividad estatal para Querétaro, según el Índice de Fournier Modificado es de 110.7 unidades, pero debido a la heterogeneidad del fenómeno en el tiempo y en el espacio, es necesario matizar el resultado. Para este caso, los índices mensuales aparecen como una ayuda para cumplir el objetivo.

Se calculó la influencia pluvial de cada mes en la erosión con las fórmulas descritas anteriormente. Los valores mayores se encuentran en los meses de junio, julio y agosto para la estación Tlamaya (24125), ubicada en Xilitla, municipio potosino vecino de Landa de Matamoros y Jalpan de Serra. Para septiembre la agresividad de la lluvia aumenta sobre todo en las estaciones 24090, 24105 y 24082 enclavadas en la región huasteca perteneciente a Jalpan de Serra y los municipios potosinos de Xilitla y Aquismón. El promedio de la influencia que cada mes aportaría a la erosión es de 9.2, sin embargo, se observa claramente en la tabla que los valores presentan heterogeneidad en su influencia, con valores más altos que se concentran en ciertos meses y en ciertas estaciones meteorológicas. La gráfica 2 muestra la heterogénea distribución mensual de la erosividad en Querétaro con base en los promedios mensuales de todas las estaciones. Según se puede observar, la erosividad adquiere importancia solamente en los meses húmedos, de mayo a octubre.



Gráfica 2. Distribución temporal de la agresividad de las lluvias.

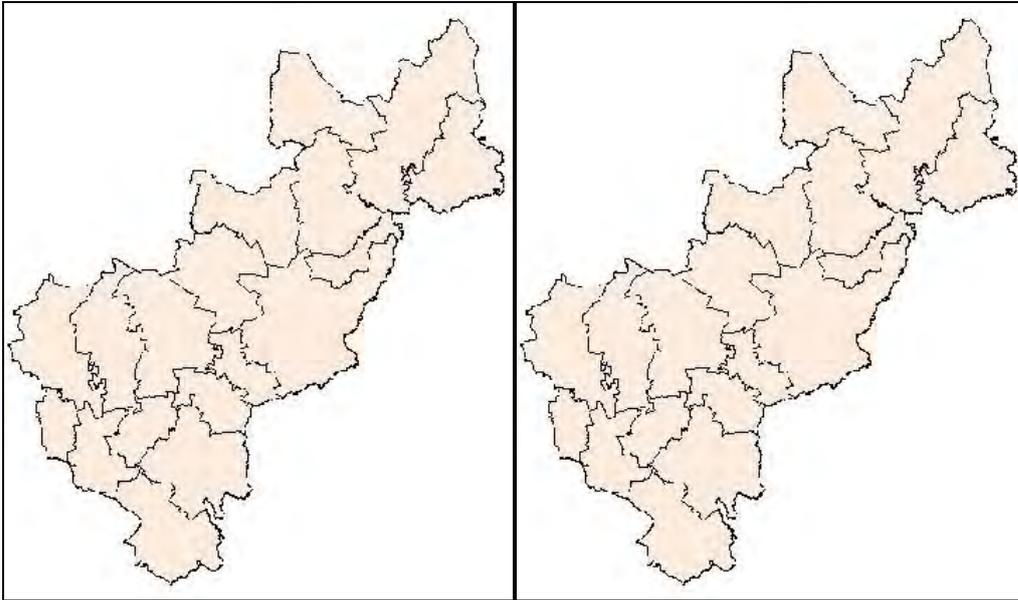
En seguida se muestra el cuadro 9 con los resultados del índice IMF_i.

Clave	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
22001	0.3	0.2	0.1	0.6	7.7	25.3	61.3	40.0	28.4	2.2	0.1	0.1
22036	0.4	0.1	0.1	1.2	3.0	11.3	10.2	8.0	37.5	4.7	0.4	0.2
22002	0.1	0.0	0.3	0.8	2.8	20.5	15.7	15.5	53.8	5.2	0.3	0.1
22003	0.3	0.1	0.2	0.6	5.1	18.5	15.5	7.2	14.3	2.5	0.1	0.0
22021	0.5	0.1	0.3	0.5	5.8	18.4	17.7	13.1	11.1	2.5	0.2	0.1
22050	0.1	0.0	0.0	0.3	3.4	20.4	33.9	30.7	6.2	4.6	0.3	0.1
22026	0.4	0.1	0.2	1.4	3.2	11.0	21.4	11.3	8.0	2.7	0.2	0.3
22043	0.2	0.1	0.0	0.8	2.6	17.8	34.7	13.7	5.2	3.1	0.2	0.1
22004	0.3	0.1	0.1	0.5	2.6	22.1	40.2	23.3	15.2	2.5	0.3	0.2
22051	0.2	0.1	0.2	1.3	2.9	12.3	9.3	8.5	18.2	3.7	0.1	0.0
22005	0.5	0.2	0.2	1.2	4.4	23.4	19.9	18.5	33.6	7.9	0.6	0.2
22006	0.6	0.1	0.1	0.9	3.6	37.9	59.6	41.8	31.5	4.4	0.4	0.3
22054	0.1	0.1	0.0	1.2	4.5	3.6	18.0	5.4	3.6	1.0	0.3	0.0
22049	0.6	0.2	0.1	1.8	4.1	16.3	30.1	14.2	12.2	4.5	0.4	0.3
22028	0.2	0.1	0.1	0.9	3.7	19.9	41.0	18.1	14.3	3.4	0.2	0.1
22062	0.1	0.1	0.2	1.4	6.6	7.4	8.4	11.8	12.8	5.3	0.1	0.0
22056	0.2	0.1	0.1	2.2	2.6	6.5	8.6	6.5	10.2	3.0	0.3	0.0
22029	0.6	0.2	0.1	0.8	3.1	23.5	55.2	26.5	13.7	4.2	0.2	0.0
22008	0.1	0.0	0.2	0.9	2.6	34.6	35.5	27.3	31.5	6.0	0.7	0.1
22007	0.3	0.1	0.2	0.6	3.5	38.7	37.4	27.6	37.8	6.7	0.4	0.2
22045	0.4	0.0	0.1	0.8	3.6	17.2	20.5	21.4	10.1	1.8	0.5	0.2
22041	0.2	0.2	0.1	0.6	3.2	26.1	30.0	19.6	10.2	2.8	0.1	0.2
22019	0.3	0.2	0.2	0.7	2.0	19.9	14.8	15.5	31.7	8.1	1.7	0.5
22042	0.2	0.0	0.1	0.5	2.5	10.7	19.5	18.2	7.1	1.9	0.2	0.1
22009	0.5	0.0	0.1	0.4	2.7	19.3	40.2	18.6	14.4	2.6	0.2	0.2
22068	0.2	0.0	0.1	0.4	4.2	13.4	7.2	11.1	18.6	2.5	0.2	0.3
22046	0.2	0.1	0.1	0.5	2.3	14.7	22.6	12.1	3.7	2.2	0.1	0.1
22030	0.2	0.1	0.2	1.2	4.6	17.1	27.9	21.1	13.1	4.2	0.1	0.0
22012	0.3	0.1	0.1	2.5	6.1	9.4	9.4	7.5	10.5	2.5	0.1	0.1
22025	0.3	0.1	0.1	0.6	3.3	14.6	21.2	14.3	12.0	2.5	0.2	0.1
22032	0.4	0.1	0.1	0.5	3.4	18.8	40.3	17.8	12.0	3.2	0.1	0.1
22047	0.2	0.1	0.1	0.5	2.4	21.6	40.1	33.3	30.5	4.7	0.3	0.0
22031	0.3	0.1	0.1	1.0	3.6	16.3	19.5	14.1	13.7	2.4	0.2	0.1
22063	0.4	0.1	0.0	0.3	3.9	18.6	31.8	12.3	9.6	2.8	0.2	0.2
22016	0.6	0.3	0.7	0.6	5.6	50.8	28.2	48.9	37.1	10.5	1.1	0.5
22022	0.2	0.1	6.9	0.4	2.6	11.0	17.0	12.5	7.9	2.9	6.0	5.0
22033	0.3	0.1	0.1	0.5	3.8	22.8	43.1	36.0	24.1	5.1	0.4	0.1
22058	0.0	0.0	0.1	0.2	1.3	10.2	20.2	15.9	9.6	3.4	0.3	0.1
22017	0.1	0.1	0.6	1.0	5.8	11.8	11.5	4.8	5.9	3.0	0.4	0.1
22024	0.1	0.1	0.0	1.3	2.3	18.8	19.9	17.0	47.5	5.1	0.5	0.3
22034	0.2	0.1	0.2	1.3	3.7	12.3	24.0	14.7	8.8	2.1	0.3	0.1
22035	0.4	0.1	0.2	1.5	4.6	13.4	16.2	8.2	12.3	2.1	0.3	0.1
24035	0.3	0.0	0.1	0.7	2.2	19.2	10.1	13.4	55.2	7.6	0.4	0.3
24082	2.0	1.9	2.7	5.0	15.5	61.5	65.1	52.5	113.0	27.2	4.9	2.8
24086	0.5	0.2	0.3	0.8	4.8	46.2	45.9	26.7	82.5	13.3	1.8	1.0
24136	0.6	0.2	0.1	0.9	3.0	23.6	12.3	12.5	72.7	14.4	1.7	0.4
24090	0.3	0.2	0.3	0.8	3.9	55.4	49.3	38.8	104.2	18.2	1.6	0.7
24125	2.7	1.3	2.1	8.6	11.2	81.0	89.0	65.7	83.6	24.7	5.0	2.2
24105	1.4	1.4	1.9	5.7	13.2	58.8	73.2	64.0	109.9	24.7	4.4	1.5
11105	0.2	0.0	0.1	0.2	1.1	18.6	32.1	23.2	14.8	2.5	0.2	0.1
11012	0.4	0.1	0.1	0.2	2.9	22.2	36.8	26.2	18.1	2.4	0.3	0.1
11144	0.3	0.4	0.0	0.9	2.5	10.3	19.9	9.4	10.1	1.7	0.2	0.1
11148	0.5	0.1	0.0	0.3	2.8	18.4	30.1	20.4	10.5	5.4	0.4	0.2
11022	0.3	0.1	0.1	0.4	2.5	22.6	35.9	24.6	17.6	3.3	0.3	0.1
11088	0.4	0.1	0.1	1.3	4.7	13.1	24.1	14.0	10.5	1.9	0.2	0.1
11066	0.4	0.1	0.1	1.3	4.7	13.1	24.0	14.6	10.5	1.9	0.2	0.1
11073	0.5	0.1	0.1	0.3	3.5	30.9	58.7	29.6	19.2	3.5	0.3	0.2
11119	0.3	0.2	0.0	0.5	3.6	8.5	17.5	9.7	7.3	1.7	0.2	0.1
11083	0.2	0.1	0.2	1.4	4.5	16.4	20.8	16.4	19.8	3.6	0.2	0.1
16233	0.0	0.0	0.1	0.7	6.2	22.3	41.6	26.2	16.5	2.8	0.3	0.1
16124	0.3	0.2	0.2	0.9	3.8	19.5	40.7	29.5	18.7	4.5	0.3	0.1
15194	0.5	0.1	0.0	0.5	5.7	21.3	57.7	33.5	17.6	4.0	0.2	0.1
15189	0.2	0.1	0.1	0.6	4.4	25.9	37.5	27.0	18.0	6.5	0.3	0.1
15069	0.3	0.1	0.2	1.1	5.6	21.4	32.5	18.6	14.9	4.3	0.4	0.2
15190	0.2	0.1	0.1	0.7	4.9	21.9	41.1	25.3	16.7	6.3	0.3	0.1
15260	0.4	0.2	0.2	1.0	4.3	19.4	36.5	22.5	15.5	5.5	0.4	0.1
15192	0.2	0.1	0.1	0.8	5.7	20.1	26.8	23.1	13.5	5.5	0.4	0.1
13065	0.4	0.2	0.3	0.9	2.6	22.7	26.7	24.1	50.0	13.6	1.5	0.3
13044	0.4	0.2	0.2	2.6	8.4	10.6	14.6	9.6	7.5	1.9	0.2	0.2

Cuadro 9. Valores mensuales obtenidos del IMF_i por estación meteorológica.

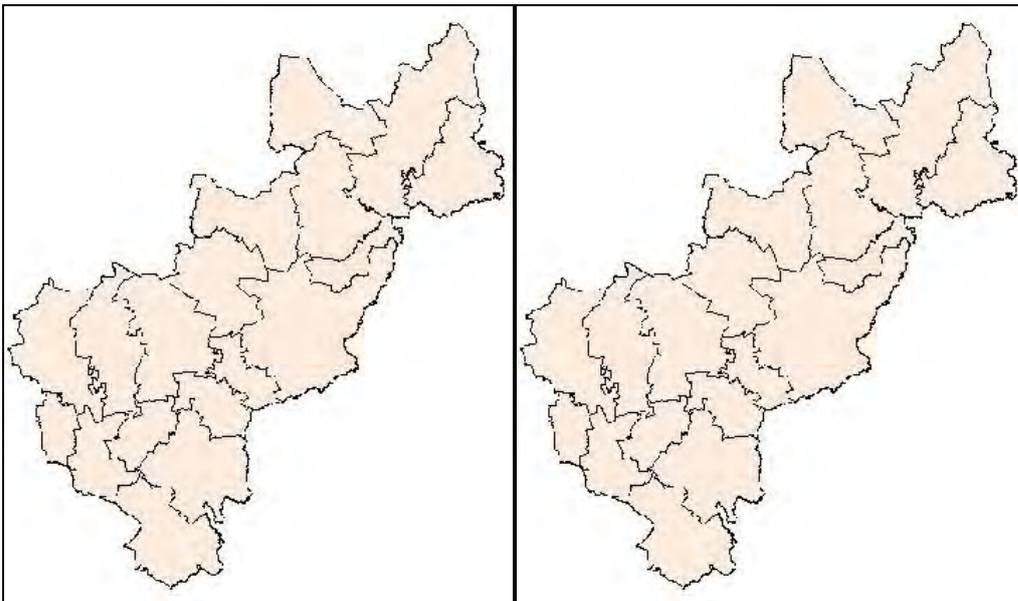
7.3.4 Cartografía de la distribución temporal de la erosividad de la lluvia.

Mapas 3 al 6. Distribución mensual de la erosividad de la lluvia. IMF_i. Enero-Abril



3) Enero

4) Febrero



5) Marzo

6) Abril



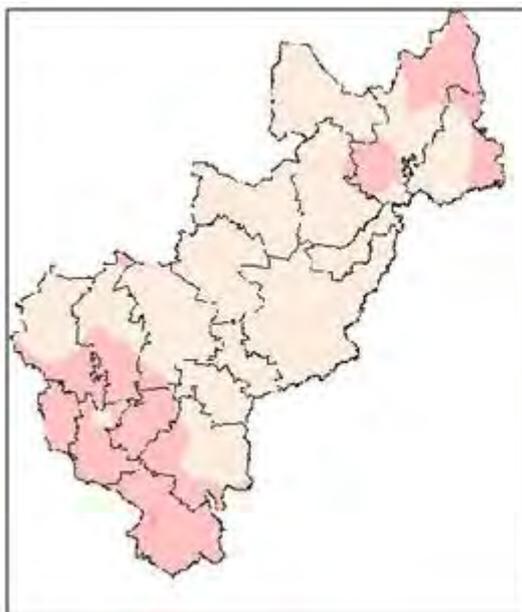
Mapas 7 al 10. Distribución mensual de la erosividad de la lluvia. IMF_i. Mayo-Junio



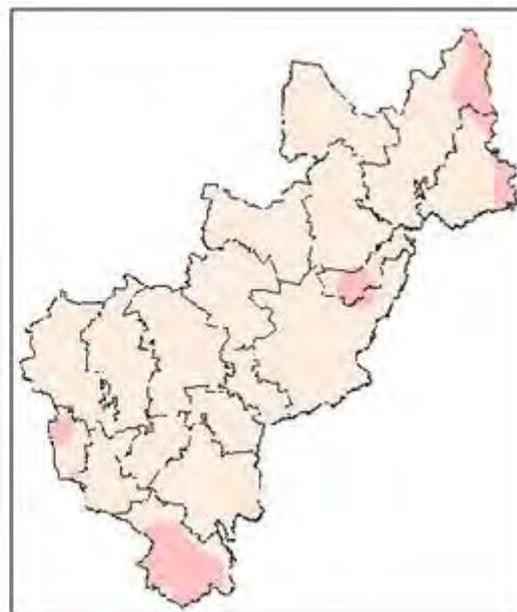
7) Mayo



8) Junio



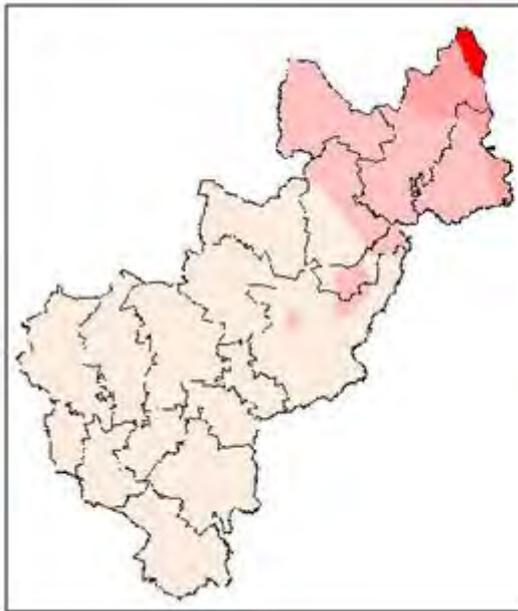
9) Julio



10) Agosto



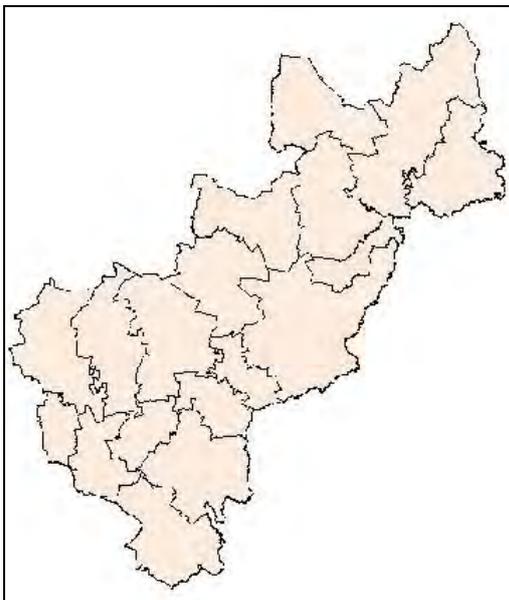
Mapas 11 al 14. Distribución mensual de la erosividad de la lluvia. Septiembre-Diciembre



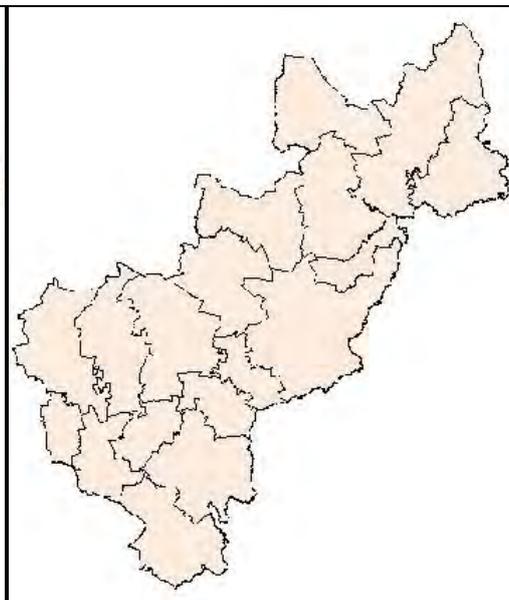
11) Septiembre



12) Octubre



13) Noviembre



14) Diciembre



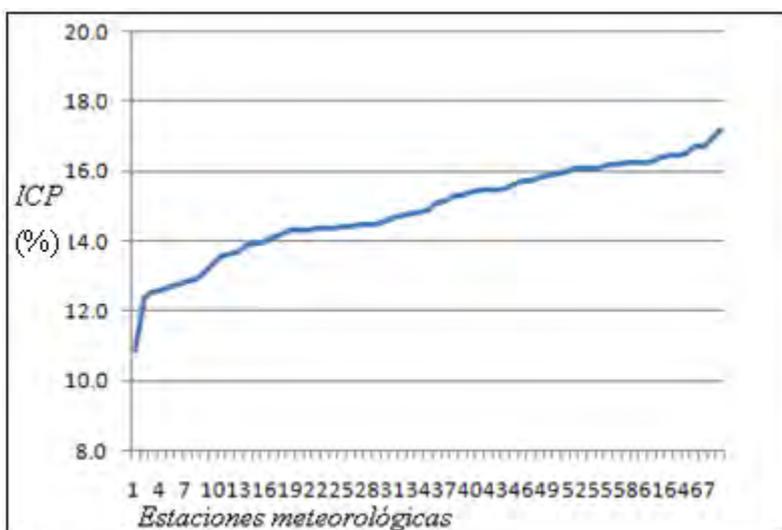
Los mapas 3 al 14 muestran espacialmente el comportamiento temporal del fenómeno erosivo, es decir, la aportación de cada mes a los valores de erosividad que se presentan. En ellos se puede observar claramente que de octubre a mayo la erosividad esta considerada como muy baja en todo el estado, sin embargo, la suma de esos valores mensuales casi nulos puede ser una importante influencia en el valor total del índice.

De junio a septiembre la erosividad se concentra en las provincias del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental, sobre todo en los municipios de Amealco, Huimilpan y Corregidora, al Sur, siendo julio en particular, el mes que tiene los valores erosivos más altos en esta región Sur del estado y la mayor extensión de superficie afectada por el fenómeno, alcanzando a cubrir también el municipio de Pedro Escobedo y el Sur de Querétaro, el Marqués y San Juan del Río.

Por otra parte, al Norte, en la serranía colindante con San Luis Potosí, los municipios de San Joaquín, Landa de Matamoros y Jalpan de Serra, se presenta la región de mayor erosividad en el estado, abarcando también parte de los municipios de Pinal de Amoles y Cadereyta de Montes. Septiembre es observado como el mes más agresivo para la región, donde se alcanzan valores de agresividad considerables que influyen plenamente en el valor anual del índice.

7.4 Concentración de las Precipitaciones.

Se obtuvieron los valores de concentración de las precipitaciones para cada estación meteorológica a partir de los datos pluviométricos y la fórmula correspondiente propuesta por Oliver (1980). En la gráfica 3 se presentan los resultados del índice obtenido, ordenados de menor a mayor, por estación meteorológica; en dicha gráfica se observan los índices oscilando entre 11 y 17 unidades del índice. Casi la mitad de las estaciones presenta valores por debajo de las 15 unidades y la otra mitad por encima de 15, situación que se refleja mejor en los mapas 17 y 18, y que representa la condición estacional y estacional moderada, según la clasificación propuesta por Lobo *et al* (2005).



Gráfica 3. Valores del índice ICP por estación meteorológica

Al igual que con los índices anteriores, se interpolaron los datos del ICP de cada estación meteorológica, ahora para obtener la distribución espacial de la estacionalidad de las lluvias en el estado de Querétaro.

Se calcularon los índices mensuales siguiendo la fórmula propuesta por Pascual *et al* (2001) para delimitar la estacionalidad y obtener mayor información de la distribución mensual del ICP. Finalmente se interpolaron los valores con el inverso de la distancia (IDW) para cartografiar la distribución temporal de la concentración de las precipitaciones obteniendo de esta manera los mapas 16 al 27.

7.4.1. ICP por estación meteorológica

En el cuadro 10 se muestran los valores del ICP para cada estación meteorológica. La variación del índice fluctúa desde las 10.9 unidades en la estación 22022, San Juan del Río, hasta 17.1, en la estación Ameche (11105), del municipio guanajuatense de Apaseo el Grande, cerca de Corregidora. Los valores extremos, ubicados ambos en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, no varían demasiado y puede decirse que el territorio estatal presenta cierta homogeneidad en su valor anual, rasgo que desaparece al observar los índices mensuales de concentración.

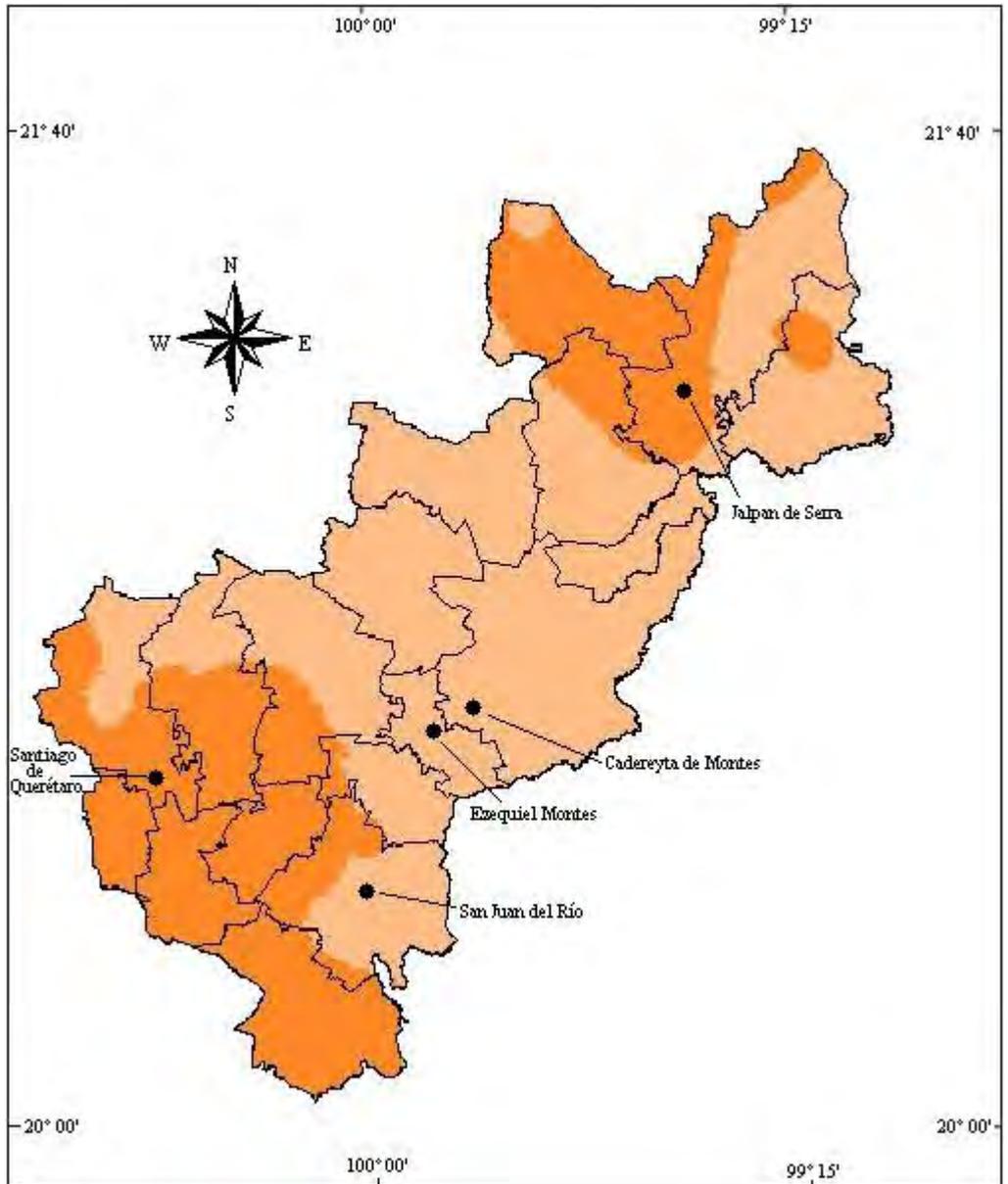
El valor promedio del ICP para el estado es de 14.9 unidades del índice, que, siguiendo la clasificación propuesta por Lobo (2005), se considera todavía como estacionalidad moderada.

Clave	ICP	Clave	ICP	Clave	ICP
22022	10.9	22031	14.4	22008	15.7
24082	12.4	22016	14.4	24090	15.8
24125	12.5	13065	14.4	22033	15.9
13044	12.6	15192	14.5	22046	15.9
22056	12.7	22034	14.5	22028	16.0
22017	12.8	22068	14.5	22058	16.1
22012	12.9	15260	14.5	22009	16.1
24105	12.9	22025	14.7	16233	16.1
22035	13.1	22045	14.7	22006	16.1
22062	13.3	22030	14.8	22032	16.2
22019	13.6	22054	14.8	11022	16.2
22049	13.6	22036	14.9	22043	16.2
22026	13.7	24086	15.1	22004	16.2
22051	13.9	11148	15.1	24035	16.2
22005	13.9	15190	15.3	11012	16.2
22021	13.9	16124	15.3	22002	16.4
11119	14.1	22063	15.4	15194	16.4
11144	14.2	15189	15.4	22029	16.5
11088	14.3	24136	15.5	22047	16.5
15069	14.3	22042	15.5	11073	16.7
11083	14.3	22041	15.5	22001	16.7
11066	14.3	22007	15.6	22050	16.9
22003	14.3	22024	15.7	11105	17.2

Cuadro 10. Valores ICP obtenidos mediante la fórmula propuesta por Oliver (1980), para calcular la concentración de las precipitaciones.

7.4.2. Cartografía de la distribución espacial de la concentración de las precipitaciones.

Mapa 15. Concentración de la lluvia en Querétaro según el ICP. Distribución espacial.



70 0 70 140 Kilometers

Concentración de las precipitaciones, según el ICP (%)	
	Uniforme (<10)
	Estacionalidad moderada (10-15)
	Estacional (15-20)
	Fuerte estacionalidad (20-50)
	Alisado (50-100)

La concentración de las precipitaciones se distribuye claramente en tres grandes zonas, coincidiendo en gran parte con las provincias fisiográficas del estado. En el centro del estado se presenta una franja de valores entre 11 y 15, considerados de estacionalidad moderada, siguiendo la orientación noroeste-sureste de los municipios Peñamiller, Tolimán y Cadereyta. Esta condición de moderada estacionalidad también se hace presente en fragmentos que se adentran hasta el municipio de Querétaro y San Juan del Río, al sur, y al oriente de Landa de Matamoros y Jalpan de Serra, además de un núcleo bien definido al norte de Arroyo Seco.

Por su parte, las regiones que presentan propiamente la estacionalidad, cuyos valores oscilan entre las 15 y 20 unidades del ICP, se encuentran al norte y sur del estado. Al norte casi la totalidad de Arroyo Seco, la franja occidental de Jalpan, y la porción norte de Pinal de Amoles, además de un núcleo al norte de Landa de Matamoros, presentan este régimen de concentración de las lluvias.

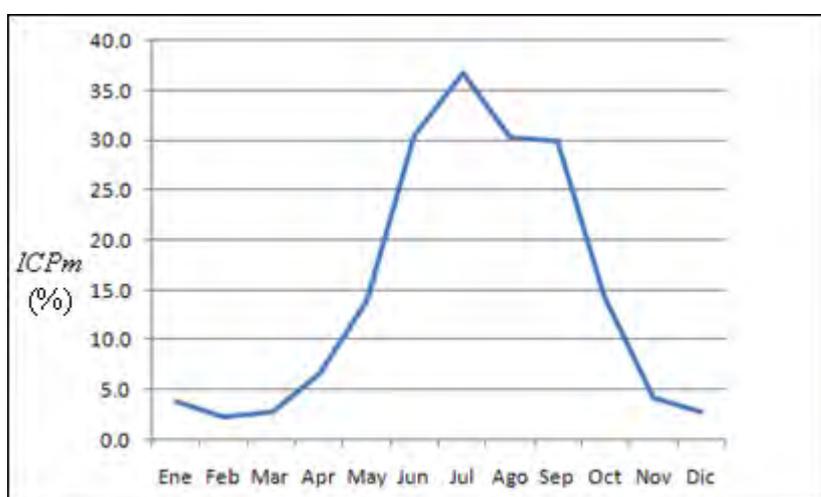
Al sur, en la provincia del Eje Neovolcánico, se encuentra la mayor extensión considerada como estacional del estado, en la totalidad de los municipios de Corregidora, Huimilpan, Pedro Escobedo y Amealco, y en gran parte de Querétaro, El Marqués, Colón, Tequisquiapan y San Juan del Río.

En general, la concentración de lluvia en el estado se considera como estacional al sur-suroeste y al noroeste, en el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre; y de estacionalidad moderada en la porción restante de ambas provincias y en la Mesa del Centro.

7.4.3. ICP_m

Se calculó la concentración mensual de las precipitaciones con la metodología propuesta por Pascual *et al* (2001), descrita anteriormente. Según el ICP de Oliver, el promedio estatal para Querétaro es de 14.9 unidades, sin embargo, con los índices mensuales se pudo matizar dicho resultado. La gráfica 4 muestra el valor promedio mensual de los índices distribuidos en el tiempo. En esta gráfica se pueden observar los meses y el valor que rige su condición de estacionalidad.

Gráfica 4. Concentración mensual de las precipitaciones en Querétaro.



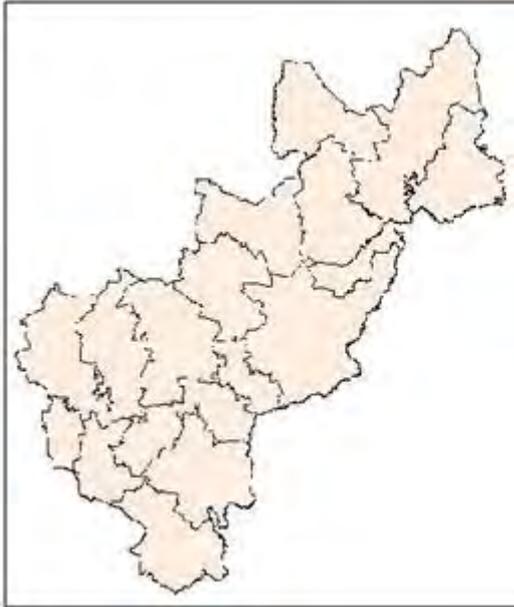
Los resultados obtenidos del ICP_m se presentan en el cuadro 11. Los valores más bajos se encuentran distribuidos a lo largo de los meses de noviembre hasta abril, tiempo en que los promedios mensuales del índice no rebasan las 10 unidades, aunque sí existen estaciones con registros de índice considerablemente más altos, sin que puedan influir estos valores en el promedio mensual. El periodo que abarca estos meses se puede considerar entonces como el más uniforme en cuanto a la distribución de la lluvia en el tiempo. Los meses de mayo y octubre presentan un promedio mensual de 13.9 y 14.3, respectivamente, y aunque también existen valores en ciertas estaciones muy por encima del promedio, se puede considerar a estos meses como de estacionalidad moderada. Los valores más altos se encuentran en los meses de junio a septiembre, siendo las estaciones La Joya (22041, municipio de Querétaro) en junio, El Zamorano (22029, municipio de Colón) en julio, Ceja de Bravo (22050, en Huimilpan) en agosto, y Lagunillas (24035, en Lagunillas, SLP) en septiembre, las estaciones que mayor valor registraron. Debido a estos valores los meses de junio a septiembre se pueden considerar como el periodo de fuerte estacionalidad en casi todo el estado, siendo el mes de julio el que presenta los valores más altos de todo el año.

Clave	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
22001	3.3	2.7	2.3	4.7	17.7	32.0	49.8	40.3	33.9	9.4	2.1	2.4
22036	5.0	2.0	1.9	8.5	13.6	26.4	25.1	22.2	48.0	17.1	5.0	3.6
22002	2.5	1.6	3.9	6.6	12.4	33.6	29.4	29.2	54.4	16.9	3.8	2.2
22003	4.4	2.6	3.7	6.1	18.3	35.0	31.9	21.8	30.8	12.8	3.0	1.7
22021	5.1	2.4	3.9	5.3	17.9	32.0	31.4	26.9	24.8	11.8	3.5	2.3
22050	2.3	1.8	1.4	4.4	15.3	37.6	48.5	46.2	20.7	17.9	4.6	2.0
22026	4.8	1.9	3.1	9.2	13.9	26.0	36.2	26.3	22.1	12.8	3.7	3.9
22043	3.7	2.5	2.0	7.9	14.4	37.3	52.1	32.8	20.1	15.7	3.7	2.5
22004	4.2	2.0	2.2	5.2	12.3	35.6	48.0	36.6	29.5	12.0	4.3	2.9
22051	3.5	2.4	3.9	9.5	14.0	28.8	25.1	24.0	35.1	15.8	2.9	1.5
22005	4.1	2.4	2.8	6.4	12.5	28.7	26.4	25.5	34.4	16.7	4.4	2.8
22006	4.5	2.0	2.1	5.3	11.0	35.4	44.4	37.2	32.3	12.1	3.8	3.0
22054	4.3	2.9	2.2	12.2	23.7	21.1	47.3	25.9	21.3	11.2	5.6	0.4
22049	5.1	2.5	2.4	8.8	13.2	26.4	35.9	24.7	22.9	13.9	4.0	3.5
22028	3.6	1.7	1.8	7.1	14.6	33.9	48.6	32.3	28.8	14.1	3.7	1.7
22062	2.2	2.0	3.5	9.4	20.3	21.5	22.8	27.2	28.3	18.3	2.7	1.4
22056	3.7	2.4	2.5	12.8	13.9	21.8	25.1	21.8	27.3	14.7	4.7	1.8
22029	5.4	3.0	1.7	6.5	12.4	34.3	52.6	36.5	26.2	14.6	3.3	1.1
22008	2.2	1.4	2.9	6.1	10.1	37.2	37.8	33.1	35.6	15.5	5.1	1.7
22007	3.2	1.5	2.8	4.7	11.2	37.1	36.5	31.3	36.6	15.4	3.9	2.9
22045	4.8	1.6	2.0	7.0	14.7	32.0	35.0	35.7	24.6	10.3	5.3	3.4
22041	3.8	3.2	2.6	5.9	13.6	38.7	41.5	33.5	24.2	12.8	2.4	3.8
22019	3.3	3.0	2.9	5.2	8.7	27.4	23.6	24.2	34.6	17.5	8.1	4.5
22042	3.9	1.6	2.8	6.6	14.7	30.7	41.3	39.9	24.9	12.8	3.9	2.6
22009	5.2	1.6	2.6	5.1	12.7	34.1	49.3	33.5	29.5	12.6	3.2	3.6
22068	4.2	1.3	1.9	5.3	17.8	31.7	23.3	28.8	37.3	13.8	3.8	4.4
22046	4.6	2.2	2.8	7.1	15.1	38.1	47.2	34.5	19.1	14.8	2.7	2.5
22030	2.9	2.4	3.1	7.9	15.4	29.6	37.9	33.0	26.0	14.7	2.7	1.5
22012	4.1	1.8	2.5	12.6	19.7	24.3	24.3	21.8	25.7	12.6	3.1	1.8
22025	4.4	2.1	2.8	6.4	14.7	31.0	37.4	30.7	28.1	12.8	3.2	2.7
22032	4.9	2.1	1.8	5.8	14.6	34.4	50.3	33.4	27.4	14.2	2.7	2.2
22047	3.1	2.2	1.8	5.2	10.8	32.3	44.0	40.1	38.4	15.1	3.9	1.2
22031	4.4	2.1	2.7	7.8	14.7	31.2	34.1	29.1	28.6	12.1	3.2	2.4
22063	5.4	2.7	1.4	4.6	15.9	34.9	45.6	28.4	25.1	13.5	3.3	4.0
22016	3.8	2.8	4.0	3.8	11.4	34.3	25.6	33.7	29.3	15.6	5.1	3.3
22022	2.2	1.7	13.3	3.3	8.2	16.8	20.9	17.8	14.2	8.6	12.3	11.3
22033	3.5	2.3	2.0	4.7	12.6	31.0	42.6	38.9	31.9	14.7	4.2	1.9
22058	0.8	0.8	2.7	4.7	11.2	31.4	44.3	39.4	30.6	18.3	5.1	3.4
22017	2.2	2.3	6.3	8.2	19.6	28.0	27.6	17.9	19.8	14.1	5.2	2.0
22024	2.6	1.7	1.5	7.9	10.7	30.5	31.4	29.0	48.5	15.9	5.2	3.7
22034	3.1	2.3	4.0	9.2	15.5	28.1	39.2	30.7	23.8	11.6	4.1	1.9
22035	4.7	2.7	3.6	9.0	15.9	27.0	29.8	21.2	25.9	10.8	4.1	2.8
24035	3.9	1.7	2.5	6.4	11.0	32.8	23.9	27.5	55.7	20.7	4.9	3.8
24082	3.9	3.8	4.6	6.2	10.9	21.8	22.4	20.1	29.5	14.5	6.1	4.7
24086	3.2	1.8	2.6	4.2	10.3	32.0	31.9	24.3	42.7	17.1	6.3	4.6
24136	4.7	2.4	2.2	5.7	10.6	29.7	21.5	21.6	52.2	23.2	8.1	3.8
24090	2.5	2.1	2.3	4.0	9.0	33.9	32.0	28.4	46.5	19.5	5.8	3.7
24125	4.5	3.1	4.0	8.0	9.2	24.7	25.9	22.2	25.1	13.6	6.1	4.0
24105	3.5	3.5	4.0	7.0	10.7	22.5	25.1	23.5	30.8	14.6	6.2	3.6
11105	4.0	1.7	2.1	4.1	9.1	38.2	50.1	42.6	34.0	14.0	3.8	2.2
11012	4.5	2.3	2.7	3.6	12.8	35.3	45.5	38.4	31.8	11.5	4.1	2.4
11144	5.0	5.2	1.6	8.3	13.4	27.5	38.3	26.3	27.2	11.1	4.3	1.9
11148	5.5	1.9	1.3	4.3	12.5	32.0	41.0	33.8	24.3	17.3	4.5	3.0
11022	4.1	1.9	1.9	4.8	11.9	35.8	45.1	37.4	31.6	13.6	3.9	2.2
11088	4.9	2.4	2.6	8.7	16.8	28.1	37.9	29.0	25.1	10.7	3.6	2.1
11066	4.9	2.4	2.6	8.7	16.8	28.0	37.9	29.5	25.0	10.6	3.5	2.1
11073	4.7	2.4	2.1	3.4	12.6	37.5	51.7	36.7	29.6	12.7	3.6	3.2
11119	5.0	3.9	1.9	6.6	17.1	26.3	37.8	28.1	24.3	11.8	4.1	2.4
11083	3.5	1.8	2.8	8.4	15.1	28.8	32.5	28.8	31.7	13.6	2.8	2.2
16233	1.5	1.6	1.8	5.9	17.9	33.8	46.2	36.7	29.1	11.9	4.2	2.4
16124	3.6	2.9	2.8	6.3	12.9	29.1	42.1	35.8	28.5	14.0	3.6	2.0
15194	4.9	2.6	1.1	4.9	16.1	31.1	51.1	38.9	28.2	13.5	3.0	2.0
15189	2.8	2.2	2.1	5.2	13.9	33.7	40.6	34.5	28.1	16.9	3.4	1.9
15069	3.6	2.2	2.9	6.7	15.5	30.2	37.1	28.1	25.1	13.5	4.3	2.6
15190	3.1	2.3	2.1	5.4	14.6	30.9	42.3	33.2	27.0	16.6	3.5	2.3
15260	4.0	2.6	2.6	6.5	13.4	28.5	39.1	30.7	25.5	15.2	4.1	2.4
15192	3.1	2.1	2.5	6.0	16.0	30.1	34.8	32.3	24.7	15.7	4.0	2.2
13065	3.6	2.5	2.8	5.2	8.8	26.2	28.4	27.0	38.8	20.2	6.7	2.8
13044	4.6	3.3	2.9	11.5	20.8	23.3	27.4	22.2	19.6	9.9	3.0	3.0

Cuadro 11. Valores obtenidos del índice ICP_m por estación meteorológica.

7.4.4 Cartografía de la distribución temporal de la concentración de las precipitaciones.

Mapas 16 al 19. Concentración mensual de la precipitación en el estado de Querétaro (ICP_m). Enero-Abril



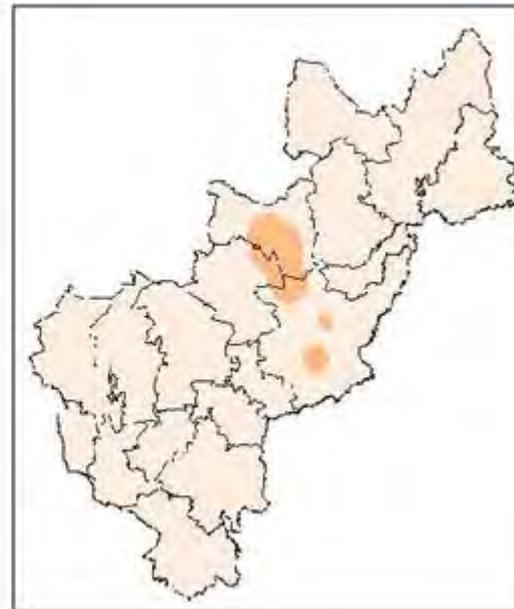
16) Enero



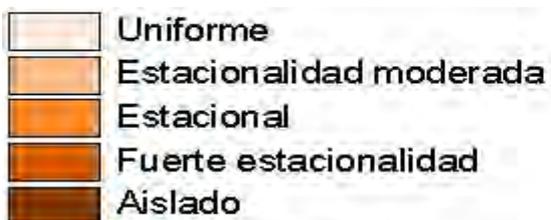
17) Febrero



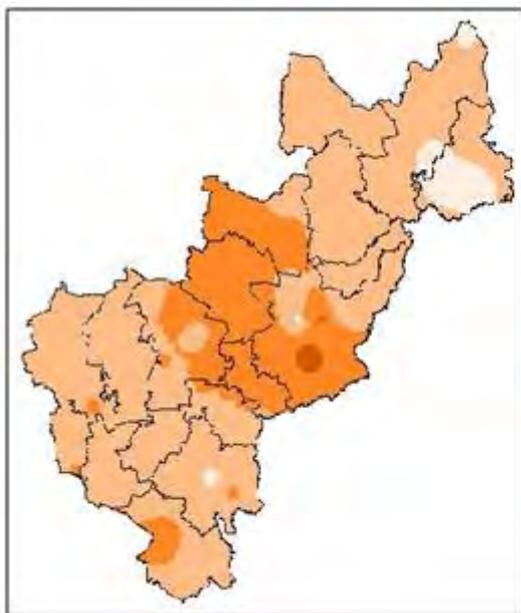
18) Marzo



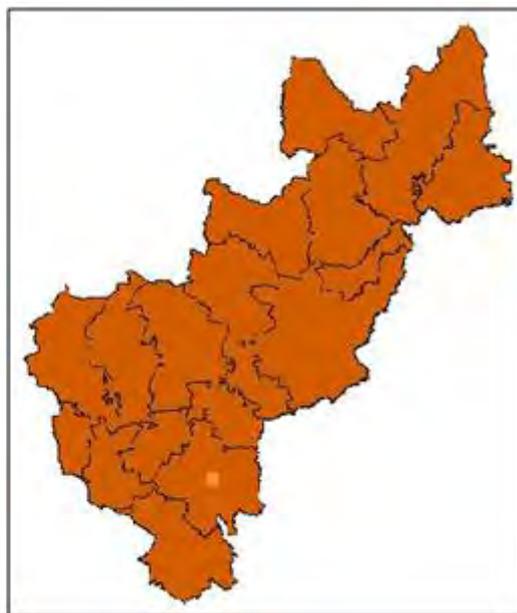
19) Abril



Mapas 20 al 23. Concentracion mensual de la precipitación en el estado de Querétaro. (ICP_m). Mayo-Junio.



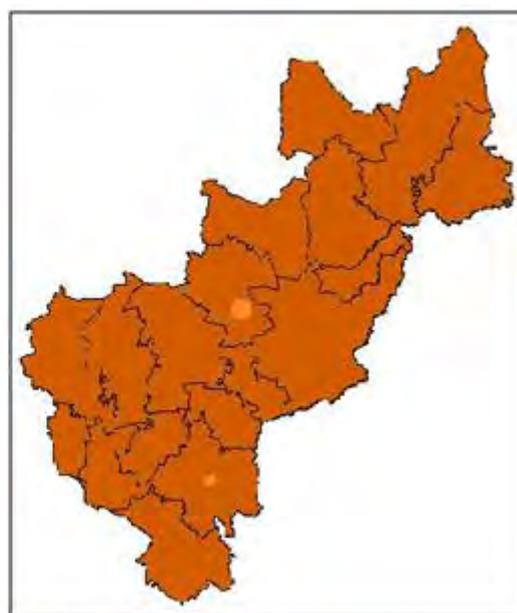
20) Mayo



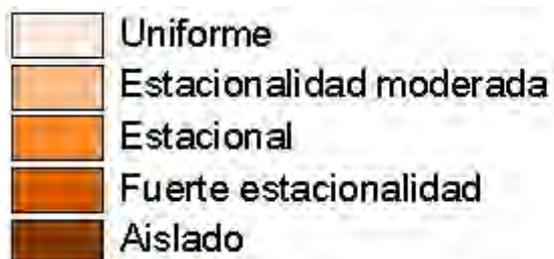
21) Junio



22) Julio



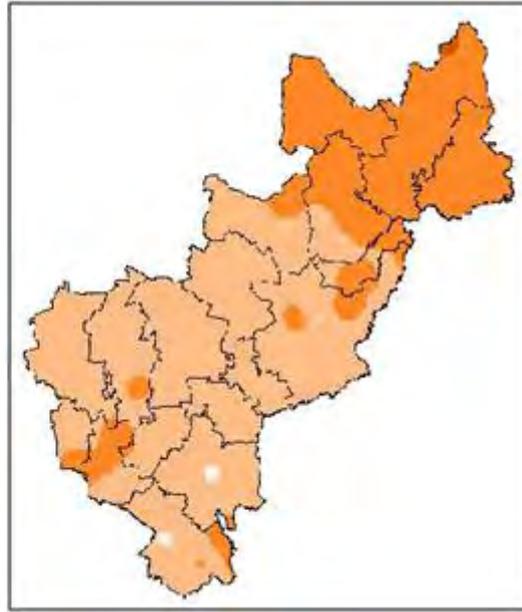
23) Agosto



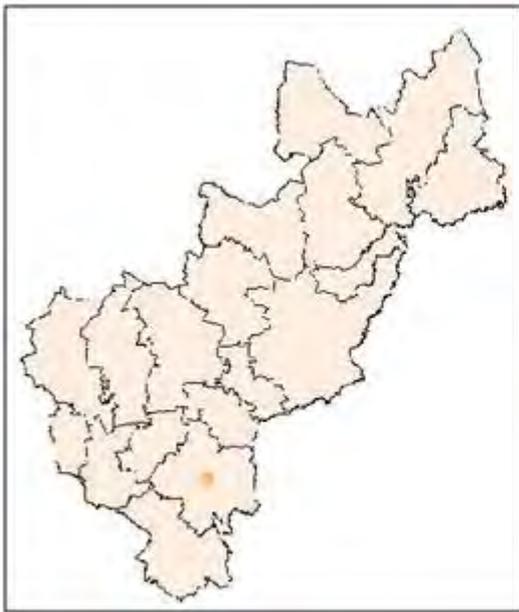
Mapas 24 al 27. Concentración mensual de la precipitación en el estado de Querétaro. (ICP_m). Septiembre-Diciembre.



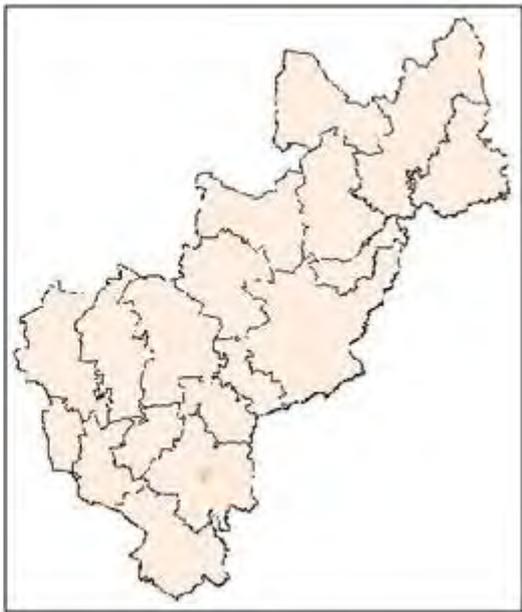
24) Septiembre



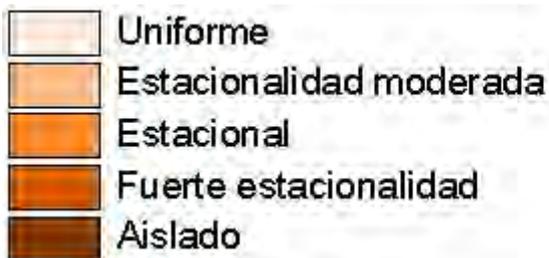
25) Octubre



26) Noviembre



27) Diciembre



Los valores obtenidos con el ICPm desaparecen, para cada mes, la homogeneidad que alcanzaba a distinguirse en ciertas regiones del estado. Se observa que en algunos meses, como marzo, surgen núcleos de concentración de precipitaciones en municipios de la provincia de la mesa central como Cadereyta, Peñamiller y Tolimán. También al sur, en el municipio de San Juan del Río permanece constante un núcleo de concentración en los meses de abril, noviembre y diciembre.

Los valores más bajos, es decir, la distribución más uniforme de las lluvias, aparecen en los meses de enero y febrero para todo el estado. Estos meses pertenecen también a la época del año en llueve menos y, por consecuencia, que la lluvia es menos agresiva, según los mapas mensuales de erosividad presentados anteriormente.

Los meses de mayo y octubre son interesantes debido al patrón de distribución que la lluvia presenta. En mayo existe gran variación en la distribución de las concentraciones pluviales: las precipitaciones se concentran ampliamente en la franja que ocupa la provincia fisiográfica de la Mesa Central, comprendiendo los municipios de Peñamiller, Tolimán, Ezequiel Montes, gran parte de Cadereyta, y la banda norte de Colón y Tequisquiapan, donde se presenta una distribución estacional y un núcleo con fuerte estacionalidad al sur de Cadereyta. Gran parte de Landa de Matamoros y el extremo norte de Jalpan, en la Sierra Madre Oriental, presentan una distribución uniforme de la lluvia en este mes, mientras que en el resto de esta provincia se observa estacionalidad moderada. Por otra parte, al sur y suroeste del estado, casi en la totalidad de la provincia del Eje Neovolcánico, la concentración de las precipitaciones se distribuye con estacionalidad moderada para este mes. Contrario a lo que ocurre en mayo, en el mes de octubre se distingue claramente dos grandes regiones con diferente distribución estacional de las precipitaciones: en la Sierra Madre Oriental las precipitaciones se distribuyen de manera estacional; mientras que en la Mesa Central y la provincia del Eje Neovolcánico las precipitaciones se concentran con moderada estacionalidad.

Es en el verano, de junio a septiembre, cuando Querétaro experimenta una fuerte concentración de las precipitaciones, donde de forma generalizada se registran los valores máximos de concentración, clasificados como fuerte estacionalidad, con núcleos estacionales en San Juan del Río, Tolimán, Colón y Cadereyta, y núcleos de estacionalidad aislada en El Marqués y Arroyo seco, en julio y septiembre, respectivamente.

8 Conclusiones

La media anual de precipitaciones en Querétaro muestra una heterogeneidad considerable entre la provincia de la Sierra Madre Oriental, al norte del estado, y las provincias de la Mesa Central y el Eje Neovolcánico, al sur del mismo. Mientras en estas dos últimas provincias la precipitación media presenta cierta homogeneidad al no rebasar los 1000 mm, en la provincia de la Sierra Madre Oriental los valores pluviométricos comienzan desde este punto y hasta alcanzar elevados valores conforme se va aproximando al norte, hacia los límites con San Luis Potosí y su región huasteca. Se puede decir, entonces, que existe homogeneidad, en cuanto al régimen pluvial, entre las provincias de la Mesa del Centro y el Eje Neovolcánico; y existe heterogeneidad entre éstas y la Sierra Madre Oriental.

La baja precipitación relativa en la provincia de la Mesa del Centro puede atribuirse al factor orográfico, ya que son terrenos rodeados de sierras, mesetas y lomeríos que impiden el paso de los húmedos vientos alisios del Golfo y la Mesa del Centro, que en sus laderas boreales retiene la humedad de los vientos que viajan de norte a sur. La disposición de esas áreas origina un índice de precipitación bajo en la zona. El mismo factor orográfico presenta el caso contrario en las provincias del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental, donde la precipitación aumenta de acuerdo a la altitud, como lo menciona Vargas (2004).

Los índices de agresividad reverenciaron una relación directa con las precipitaciones, es decir, a medida que aumenta el monto de las precipitaciones, también se incrementa su agresividad, como lo han reportado anteriormente algunos autores (Pizarro *et al*, 2008). Esta cuestión se liga estrechamente al lógico procedimiento del índice obtenido, que requiere del volumen precipitado como dato fundamental para calcular aquél valor.

El patrón que la erosividad muestra es el de un gradiente del centro hacia los extremos norte y sur. El territorio de Querétaro está considerado como de erosividad moderada, según el promedio de todas las estaciones meteorológicas. Sin embargo, en el área de estudio, la erosividad no se comporta de manera homogénea, ya que mientras existen áreas donde esta erosividad es prácticamente nula, como en algunas regiones de Peñamiller y Toliman, también existen áreas donde se rebasa, y por mucho, los criterios que señalan alta erosividad, como en los municipios de Jalpan de Serra y Landa de Matamoros.

La erosividad mensual de la lluvia, aplicada a cada mes de modo independiente, es importante sólo durante los cuatro meses más húmedos del año, es decir, el periodo de junio a septiembre, mostrando valores muy bajos durante el resto del año. El mayor nivel de agresividad climática aparece en julio y septiembre, meses que también presentan la mayor precipitación mensual. Entre estos 4 meses la agresividad de la lluvia es mayor en las zonas montañosas de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico, especialmente en los puntos donde la pendiente es más escarpada.

Por otra parte, los resultados obtenidos con la aplicación del ICP muestran que las precipitaciones se concentran en el noroeste y sur-suroeste del estado, donde las lluvias se consideran como estacionales, mientras que la estacionalidad moderada domina en el resto del territorio queretano. Sin embargo, como refiere Pascual (2001), al tratarse el ICP de un resumen anual, pueden conducirse a asignaciones que indican uniformidad de las concentraciones de la precipitación sin reflejar adecuadamente la variabilidad e irregularidad temporal y espacial que presenta la lluvia en algunas regiones. Así, la relativa homogeneidad, de precipitación estacional y moderadamente estacional, que existe en el estado, es matizada mes a mes con una considerable variabilidad del ICP a lo largo del año.

La concentración mensual de las precipitaciones aparece como uniforme en la mitad del año, acentuando sus valores en los seis meses de mayo a octubre. Es en este tiempo donde se presenta estacionalidad bien definida, remarcándose de junio a septiembre como fuerte estacionalidad en todo el estado, siendo julio el mes con el valor más alto de concentración de las lluvias. Mientras, los meses propios de mayo y octubre revelan un régimen estacional y de estacionalidad moderada, debido a la influencia de los meses lluviosos, marcando el comienzo y el final de la temporada de lluvias.

Además, se puede concluir que Landa de Matamoros y Jalpan de Serra son los municipios de Querétaro que, con base en este tipo de índices, presentan mayor riesgo a sufrir erosión por lluvia, sobre todo en el periodo de mayo a octubre, por lo que como recomendación general se sugiere mantener la cubierta vegetal y evitar la tala inmoderada y los cambios de uso de suelo en la región, ya que actualmente los bosques de pino y encino presentes en la zona significan una importante protección al suelo para mitigar los efectos de los fenómenos erosivos.

Así mismo se recomienda poner atención en aquellas otras zonas propensas a la erosión como los municipios de Cadereyta, San Joaquín, Pinal de Amoles, Arroyo Seco, Amealco, Corregidora y Huimilpan, sobre todo en los seis meses más húmedos del año, para poder tomar las medidas necesarias y, en el mejor de los casos, ejercer acciones

que ayuden a conservar el suelo y su productividad para beneficio de las diferentes poblaciones implicadas y por supuesto, en favor del ambiente.

9 Bibliografía.

- Almoza Y., Schiettecatte W., Medina H., y Alonso G. 2007. Metodología para la Estimación del Factor Erosividad de las Precipitaciones en el Modelo (RUSLE). Zonas áridas 11 (1): 150-158.
- Alvarado C.M., Colmenero R.J.A., y Valderrano A.M.L. 2008. La erosión hídrica del suelo en un contexto ambiental, en el Estado de Tlaxcala, México. Ciencia Ergo Sum. Vol 14, num. 3. Universidad Autónoma del Estado de México, p 317-326.
- Apaydin H., Erpul G., Bayramin I., y Gabriels D. 2006. Evaluation of índices for characterizing the distribution and concentration of precipitation: a case for the región of Southeastern Anatolia Project. Turkey. Journal of hidrology. Vol. 328, num. 3-4, p 726-732.
- Arnoldus H.M.J. 1977. Methodology used to determine the maximun potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. En: Assessing Soil Degradation. FAO Soils Bulletin 34. FAO. Roma.
- Arnoldus H.M.J. 1980. An aproximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. En: De Boodt M. y Gabriels D. (eds). Assessment of erosion. John Wiley & Sons. Cichester, GB. p 127-132.
- Auerswald, K. 1988. A spatial differentiating method for computing high resolution maps of soil loss by rain wash fundamental principles of the dUSLE. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. 58 12-16.
- Barrow C.J. 1991. Land degradation: development and breakdown of terrestrial environments. Cambridge University Press, GB 295 pp.
- Basile P.A., Riccardi G.A., y Stenta H. 2005. Modelación de la producción de sedimentos a escala de cuenca en el sistema del A Ludueña, Santa Fe, Argentina. XX Congreso Nacional del Agua – Mendoza – Mayo 2005.
- Baumann J., Arellano M.J.L., y Borgman J. 2002. Adaptation of the Universal Soil Loss Equation to the Tropical Pacific Coastal Region of the Chiapas State, Mexico. 12th ISCO Conference Beijing 2002.
- Bayramin U., Erpul G., y Erdouan H.E. 2006. Use of CORINE methodology to assess soil erosion risk in the semi-arid area of Bepazari, Ankara. Turkish journal of agriculture and forestry. Vol. 30, num. 2, p 81-100
- Bergsma E. 1980. Provisional rainerosivity map of the Netherlands. En: De Boodt M y Gabriels D. Assessment of erosion. John Wiley & Sons. Cichester, GB. p 121-127.
- Berry, J.K. 1987. Fundamental operations in computerassisted map analysis. International Journal of Geographical Inormation Systems. 1: 119-136.

- Bertoni J. y Lombardi Neto F. 1990. Conservação do solo. Ícone Editora, São Paulo, Brazil 355 pp.
- Bolline A., Laurent A., Rosseau P., Powels J.M., Gabriels D., y Aelterman J. 1980. Provisional rainerosivity map of Belgium. En: De Boodt M y Gabriels D. Assessment of erosion. John Wiley & Sons. Cichester, GB. p 111-120.
- Campos-Aranda D.F. 1992. Procesos del ciclo hidrológico. Editorial Universitaria Potosina. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. p 36-46.
- Campos-Aranda D.F. 2008. Estudio de la precipitación máxima diaria anual en 53 estaciones pluviométricas del estado de San Luis Potosí mediante el enfoque de región de influencia. Ingeniería hidráulica en México, vol. XXIII, num. I. Enero-Marzo (2008), p 139-155.
- Carmi G., y Berliner P. 2008. The effect of soil crust on the generation of runoff on small plots in arid environments. Catena 74 (2008), num.1 p 37-42.
- Cavazos T., y Hastenrath S. 1990. Covection and rainfall over Mexico and their modulation by the Southern Oscillation. International Journal of Climatology. Num. 10, p 377-386.
- CNA-SMN, 2008. Comisión Nacional del Agua-Servicio Meteorológico Nacional. Página de internet: [www.http://smn.cna.gob.mx/](http://smn.cna.gob.mx/) Fecha de ingreso: 21-dic-08.
- Colloti E. 2004. Aplicabilidad de los datos de lluvia horaria en el cálculo de la erosidad. Fondo Editorial de Humanidades y Educación, Universidad Central de Venezuela. 180 pp.
- CONAZA.(Comisión Nacional de Zonas Aridas); Secretaría de Desarrollo Social. 1994. Plan de acción para combatir la desertificación en México. p 135. 155 pp.
- Consejo de Recursos Minerales. 1992. Monografía geológica-minera del estado de Querétaro. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal. México
- CORINE-CEC. 1992. Soil Erosion Risk and Important Land Resources in the Southeastern Regions of the European Community. EUR 13233, Luxembourg, BELGIUM; pp. 32-48.
- Cortés T. H. 1991. Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados, Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillos, MEX., 168 p.
- Cruz, C.V. 1997. Evaluación de la erosion hídrica y propuesta de manejo del suelo en la subcuenca del arroyo Atameya y Palmillos del municipio de Texcoco, Estado de México. Tesis Profesional. Chapingo, México.
- Da Silva A.M. 2004. Rainfall erosivity map for Brazil. Catena Vol 57, num. 3 (2004), p 251-259.

- De Luis M., González-Hidalgo J.C., Raventós J., Sánchez J.R., y Cortina J. 1997. Distribución espacial de la concentración y agresividad de la lluvia en el territorio de la comunidad valenciana. Cuaternario y Geomorfología, 11 (3-4), p 33-44.
- Delaney J. y Van Niel K. 2007. Geographical Information Systems; an introduction. 2ª edición. Oxford University Press. 214 pp.
- DeMers, M.N. 2005. Fundamentals of Geographical Systems. 3d edition. John Wiley & Sons. 468 pp.
- Diodato N. 2004. Estimating RUSLE's rainfall factor in the part of Italy with a mediterranean rainfall regime. Hydrology and Earth System Sciences. Vol 8, num. 1, p 103-107.
- Engleheart P.J. y Douglas A.V. 2002. Mexico's summer rainfall patterns: an analysis of regional modes and changes in their connectivity. *Atmósfera*, p 147-164.
- Enciclopedia de los Municipios de México. 2009. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Querétaro
- Fangmier D., William J.E., Stephen R.W., Rodney L.H., y Glenn O.S. 2006. Soil and water conservation Engineering, 5th edition. Thompson-Del Mar Learning. 502 pp.
- FAO. 1978. Assessing Soil Degradation. FAO Soils Bulletin 34. FAO. Roma.
- FAO. 1979. A Provisional Methodology for Soil Degradation Assessment. Roma, Italia. 84 pp.
- Fernández F. 1995. Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación. Ed. Síntesis S.A. 285 pp.
- Ferro V., Porto P., y Yu B. 1999. A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia. *Hydrological Sciences—Journal—des Sciences Hydrologiques*, 44 (1) February 1999, p 3-24.
- Figuroa S., B., A. Amante O., H.G. Cortes T., J. Pimentel L., E.S. Osuna C., J.M. Rodríguez O. y F.J. Morales F. 1992. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SAGAR-CP, Montecillo, Edo. de México, México, 150 p.
- Fournier, F. (1960). *Climat et erosion*, Ed. Pres. Univ. de France, Paris, 201 pp.
- Gabriels D. 1992. Rainfall erosivity for european mediterranean countries. Seminar on soil erosion under mediterranean conditions. Menéndez Pelayo International University, Valencia.
- García E., Vidal R., Tamayo L.M., Reyna T., Sánchez R., Soto M., y Soto E. 1977. Precipitación y probabilidad de lluvia en los estados de Querétaro e Hidalgo. Precipitación en la República Mexicana y evaluación de su probabilidad. UNAM, Instituto de Geografía, México. 120 pp.

- García E. 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. Investigaciones Geográficas. Boletín núm. 50, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 67-76.
- González-Hidalgo, J.C. 1996. Los índices de agresividad de la lluvia y su aplicación a la valoración de la erosión del suelo. Cuadernos Técnicos 10, Sociedad Española de Geomorfología, Logroño.
- Gobierno del Estado de Querétaro. 1999. Anuario económico. Secretaría de Desarrollo Sustentable. Querétaro. México
- Gobierno del Estado de Querétaro. 2001. Anuario económico. Secretaría de Desarrollo Sustentable. Querétaro. México
- Gregori E., Andrenell M.C., y Zorn G. 2006. Assessment and clasification of climatic agresiveness with regard to slope instability phenomena connected to hydrological and morphological processes. Journal of Hidrology. Vol 329, num. 3-4, 489-499.
- Gutierrez-Lopez A., Lebel T. y Mejía-Zermaño R. 2005. Estudio espacio-temporal del régimen pluviométrico en la zona meridional de la República Mexicana. Ingeniería hidráulica en México. Vol. XX, num. 1, enero-marzo, p 57-65.
- Hudson, Norman. 1982. Conservación del suelo. Reverté, S. A. España. p 17-18. 335 pp.
- ICONA. 1981. Estudio del coeficiente R, factor lluvia de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo y del factor de agresividad de la precipitación en la vertiente mediterránea. ICONA, Ministerio de Agricultura, Madrid, 15 pp.
- INEGI. 1998. Anuario Estadístico del Estado de Querétaro. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI, 2008. Anuario Estadístico del Estado de Querétaro. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI. 2009. Sitio del INEGI en Internet: www.inegi.org.mx Fecha de ingreso a la página: 12 Enero.
- INFDM. 2005. Enciclopedia de los Municipios de México. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Querétaro
- Jordán A. y Bellinfante, N. 2000. Cartografía de la erosividad de la lluvia estimada a partir de datos pluviométricos mensuales en el campos de Gibraltar (Cadiz). *Edafología*, 7 (3), 83-92.
- Lal R., Lawson T.L., y Anastase A.H. 1980. Erosivity of tropical rains. En: Boodt M y Gabriels D. Assessment of erosion. John Wiley & Sons. Cichester, GB. p 143-151.

Lobo D., Gabriels D., Ovalles T., Santibañez F., Moyano M., Aguilera R., Pizarro R., Sangüesa C. y Urrea N. 2005. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y sub-húmedas secas de América Latina y el Caribe. CAZALAC, PHI-UNESCO. 66 pp.

López B.F., y Romero D.M.A. 1993. Génesis y consecuencias erosivas de las lluvias de alta intensidad en la región mediterránea. Cuadernos I. Geográfica. 18-19: p 7-28

López L.A. 2007. Intercepción de la vegetación herbácea de ambiente semiárido y su efecto en la relación intensidad-duración-frecuencia de la precipitación. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. 154 pp.

Maass M.J.M., y García O.F. 1990. La conservación de suelos en zonas tropicales: el caso de México. Ciencia y Desarrollo. Vol 15 (90), p 21-36.

Martínez M.M.R., López M.R., y Hernández F.E. 2001. Relación sedimentos-erosión en la cuenca alta del papaloapan. XI Congreso Nacional de Irrigación. Guanajuato, Guanajuato, México. 19-21/09/2001.

Men M., Yu Z., Xu H. 2008. Study on the spatial pattern of rainfall erosivity based on geostatistics in Hebei Province, China. Frontiers of Agriculture in China, Vol. 2, num. 3, septiembre de 2008, p 281-289.

Méndez G.J., Nívar C.J.J., y González O.V. 2008. Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. Investigaciones Geográficas, Boletín Num. 65. Instituto de Geografía, UNAM, México, p. 38-55

Montes L.M.A., Domínguez C.M.A., y Ventura R.E. 2000. Utilización de un SIG en la estimación del riesgo de erosión hídrica en la cuenca Santa Catarina, Querétaro. Querétaro. México.

Montes L.M.A. 2002. Predicción de la Erosión Hídrica para la Elaboración de Planes de Conservación de Suelos a Nivel Cuenca. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. 110 pp.

Moreno Sánchez Francisco. 1999. Evaluación de la erosión hídrica utilizando SIG: caso de la Cuenca del Río Texcoco. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.

Morin J. 1996. Rainfall analysis. En Agassi, M. (ed). 1995. Soil erosion, conservation and rehabilitation. Marcel Dekker Inc. NY. 402 pp.

Morgan, R.P.C; Terrón, J.M.U.P; López M.U. (1997). Erosión y conservación del suelo. Mundi Prensa. 343 pp.

Mosiño P.A., y García E. 1974. The climate of Mexico. World survey of climatology. En Bryson R.A., y Hare F.K. (eds). Vol II, Climates of North America, London. Elsevier, p 345-404.

- Muñoz G. R. 2006. Erosión hídrica en la microcuenca San Pedro Huimilpan: valoración integrada para su control. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. 88pp
- Oliver J.E. 1980. Monthly precipitation distribution: a comparative index. *Professional Geographer*. 32 (3), 300-309.
- Pando M.M., Gutierrez G.M., Maldonado H.A., Palacio P.J.L., y Estrada C.E. 2003. Comparación de métodos en la estimación de la erosión hídrica. *Investigaciones Geográficas* 51, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, p 23-26.
- Parlak M., Dinçsoy Y., Seyrek K. 2007. Determination of erosion risk according to CORINE methodology (a case study: Kurtbogazi dam). *International congress on river basin management, 2007*. 844-859.
- Pascual, J. A., Añó V. C., Sánchez, D. J., Masiá, M. F. J. & Arnau, R. E. (2001). Valoración de la idoneidad de los índices PCI y MFI para estimar la concentración y agresividad de las precipitaciones en la comunidad valenciana. *Rev C&G*, 15(3-4) 77-85.
- Pizarro R., Cornejo F., González C., Macaya K., y Morales C. 2008. Análisis del comportamiento y agresividad de las precipitaciones en la zona central de Chile. *Ingeniería hidráulica en México*. Vol XXIII, num. 2. Abril-Junio, p 91-109.
- Pons M.V., y Soriano S.M.D. 1994. Valores del coeficiente de torrencialidad R. Su cálculo y distribución para la provincia de Castellón. *Cuadernos de Geografía*, 55: 17-25.
- Porta J., López-Acevedo M. y Roquero C. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. Mundi Prensa, 929 pp.
- Renard K.G., Lane L.J., Foster G.R., y Laflen J.M. 1995. Soil Loss Estimation. En Aggassi M. (ed). *Soil Erosion, Conservation, and Rehabilitation*. CRC Press. 402 pp.
- Rivera R.O. 2003. Efecto de la interacción lluvia-escurrimiento en el proceso de erosión en surcos. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. 101 pp.
- Röder, J., Villavicencio G.R., Zarazúa V.P. 2006. Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo "USLE" en SIG para estimar riesgo potencial de erosión en el área protegida "Sierra de Quila". *Avances en la Investigación Científica en el CUCBA*.
- Roldán, A.I. 2004. *Sistemas de Información Geográfica aplicados al manejo de recursos naturales*. UAM, Xoxhimilco, México. 142 pp.
- Roose E.J. 1977. Use of the Universal Soil Loss Equation to predict erosion in west Africa. En *Soil erosion, prediction and control*. Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa.

Sanaphre V. L. 2006. Evaluación de la erosión hídrica y propuesta de uso de vegetación para su control en la microcuenca San Pedro (Huimilpan, Querétaro). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. 75 pp.

SEMARNAT. (Secretaría del Medio Ambiente). 2005. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. México. 380 pp.

Shamshad A., Azhar M.N., Isa M.H., Wan Hussin W.M.A. y Parida B.P. 2008. Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE EI₃₀ index and preparation of erosivity maps for Palau Penang in peninsular Malaysia. *Catena*, vol 72, num. 3 (2008), p 423-432.

Smith, D. D., y Whitt, D. M. 1948. Evaluating soil losses from field areas. *Agricultural Engineering* 29:394-398.

Taboada S.M., Oliver G.R., y Reyna T.T. 1993. Manual de precipitación del Estado de Morelos. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Biológicas, México.

Tamhane R. V. 1986. Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales. 4^a Reimpresión. Diana. 483 pp.

Tapia V.M., Tiscareno L.M., Oropeza M.J.L., Stone J.J., y Velázquez V.M. 2000. Runoff and sediment yields simulation under five soil management practices. *Agrociencia*, Vol. 34, num. 6. Noviembre-diciembre, p 663-675.

Thompson Louis M. 1982. Los suelos y su fertilidad. Cuarta Edición. p 560-569. 649 pp.

Tiscareno L.M., Baez G.A.D., Velázquez V.M., Potter K.N., Stone J.J., Tapia V.M., y Claveran A.R. 1999. Agricultural research for watershed restoration in central Mexico. *Journal of Soil and Water Conservation* 54: 686-692.

Toy, J.T., Foster, G.R., Renard KG. 2002. Soil erosion: processes, prediction, measurement and control. John Wiley & Sons Inc. 338 pp.

Vargas U.G. 2004. La escala zonal, regional y local en el análisis del régimen pluviométrico del Istmo Centroamericano. *Reflexiones* 83 (1): 31-56.

Vega C.M.B., y Febles G.J.M. 2008. La agresividad de la lluvia en áreas rurales de la provincia La Habana como factor de presión en la sostenibilidad agroambiental. II Seminario Internacional de cooperación y desarrollo en espacios rurales iberoamericanos. Sostenibilidad e indicadores. Almería, 14-16 Julio, 2008.

Watson, D.F., y Philip, G.M. (1985). A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation, *Geo-Processing*, 2: 315 - 327.

Wilson, J.P. 1989. Soil Erosion from agricultural land in the lake Sicoe-Couchiching basin, 1800-1981. Citado en: Moreno Sánchez. 1999. Evaluación de la erosión hídrica

utilizando SIG: caso de la Cuenca del Río Texcoco. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.

Wischmeier W.H., y Smith D.D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am. Geophys. Union* 39:285-291.

Wischmeier, W. H. (1959). A rainfall erosionindex for a universal soil-loss equation. *Soil Science Society of America. Proceedings*, 23, 246-249.

Wischmeier W.H. 1977. Use and missuse of the USLE in: Foster GR DE. Soil erosion: Prediction and control. SCSA Special publication (21) 371-378.

Wischmeier W.H., y Smith D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. Washington D.C., USDA. Agriculture Handbook no. 537.

Yuksel A., Gundogan R., y Akay A.E. 2008. Using the Remote Sensing and GIS Technology for Erosion Risk Mapping of Kartalkaya Dam Watershed in Kahramanmaras, Turkey. *Sensors* 2008, 8, 4851-4865

Zanch C y Torri D. 1980. Evaluation of rainfall energy in central Italy. En: Boodt M y Gabriels D. Assessment of erosion. John Wiley & Sons. Cichester, GB. p 133-142.

Zingg A.W. 1940. Degree and lenght of land slope as it affects soil loss in runoff. *Agricultural Engineering*, 21:59-64.