

Cálculo de la peligrosidad y vulnerabilidad por inundaciones en el municipio de San Mateo Atenco, Estado de México.

Danger and vulnerability calculation due to floods in the municipality of San Mateo Atenco, State of Mexico

¹Luis Miguel Espinosa Rodríguez, ¹Natalia Dinorah Torres Pardo y ¹Dolores Magaña Lona.

¹Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec S/N, Ciudad Universitaria, C. P. 50120, Toluca, Estado de México, 52+7222150255, email: geo_luismiguel@hotmail.com,

RESUMEN. Con base en variables de carácter natural (geológico-geomorfológicas, edáficas e hidrológicas), sociales y económicas se desarrolla una propuesta metodológica para el cálculo de la peligrosidad y la vulnerabilidad por inundaciones en el municipio de San Mateo Atenco, Estado de México. Se realiza la caracterización fenomenológica del geosistema que interactúa en la zona de estudio, así como el conjunto de variables que determinan las características funcionales y estructura de las inundaciones, obteniéndose parámetros cuantitativos del proceso.

ABSTRACT. Based on natural (geologic-geomorphologic, edaphic and hydrological), social and economic variables develop a methodology for the calculation of the danger and vulnerability in the municipality of San Mateo Atenco, State of Mexico. The phenomenological characterization of the geosistema, that interacts in study was realized, and the set of variables that determine the functional characteristics and structure of the floods, finally we obtained some quantitative parameters of the process.

Palabras clave: Geosistema, inundaciones, peligrosidad, vulnerabilidad.

Recibido: Enero, 2017.

Aprobado: Abril, 2017

Key words: Geosystem, flood, hazard, vulnerability.

INTRODUCCIÓN.

Entre los geosistemas perturbadores que mayor impacto tienen en el Estado de México se encuentran las inundaciones debido a la periodicidad, frecuencia, superficie de ocupación y número de personas afectadas; representan a un conjunto de problemas que se desarrollan en los ámbitos social, económico y natural.

Uno de los municipios que reporta mayor incidencia de este tipo de eventos hidrometeorológicos que se convierten en desastres en la entidad mexiquense es el municipio de San Mateo Atenco; localizado entre los paralelos 190 14'45'' y 190 17'07'' de Latitud Norte y los Meridianos 990 29' 04'' y 990 34' 04'' de Longitud Oeste (ver Figura 1) emplaza el área urbana, rural e industrial sobre terrazas fluviales, planicies aluviales, lagos oxbow y zonas lacustres que pertenecen al curso alto del río Lerma.

Originalmente el municipio se asentó en la proximidad de la ciénaga del río Lerma, conocida en el ámbito popular con diferentes nombres como Chignahuapan, Chicnauhatenco, Matlitzinco o Matalcingo. En una superficie de 12.5 kilómetros cuadrados, al aumentar la población de 9,500 habitantes en el año de 1950 a más de 70,000 en 2015 se ejerció presión en el medio y se ocuparon los lechos –de inundación, crecidas y crecidas máximas- para el establecimiento de viviendas, infraestructura comercial y manufacturera; creciendo al mismo tiempo una compleja serie de problemas asociados con la naturaleza, la sociedad y la economía.

De acuerdo con la Comisión de Aguas del Estado de México (CAEM, 2016), se tiene registro de inundaciones severas en los años 1903, 1928, 1998 y 2005 y el reconocimiento de tirantes frecuentes que rebasan 50 centímetros de altura.

Por otra parte, la localidad se caracteriza por la escasez de oferta de suelo para la vivienda segura, pobreza, marginación, deficiencia y por la carencia de planes y/o programas de servicios eficientes de infraestructura sanitaria y de drenaje. Aqueja contaminación generalizada, irregularidad e ilegalidad en la tenencia de la tierra, urbanización caótica, deterioro y destrucción de los valores naturales del paisaje entre otros; en consecuencia, las características territoriales del espacio geográfico en cuestión, tienden a poseer un alto nivel de complejidad, el cual se agrava durante los periodos de precipitación anual, estacional y de manera específica, cuando los umbrales extremos de la lluvia se rebasan.

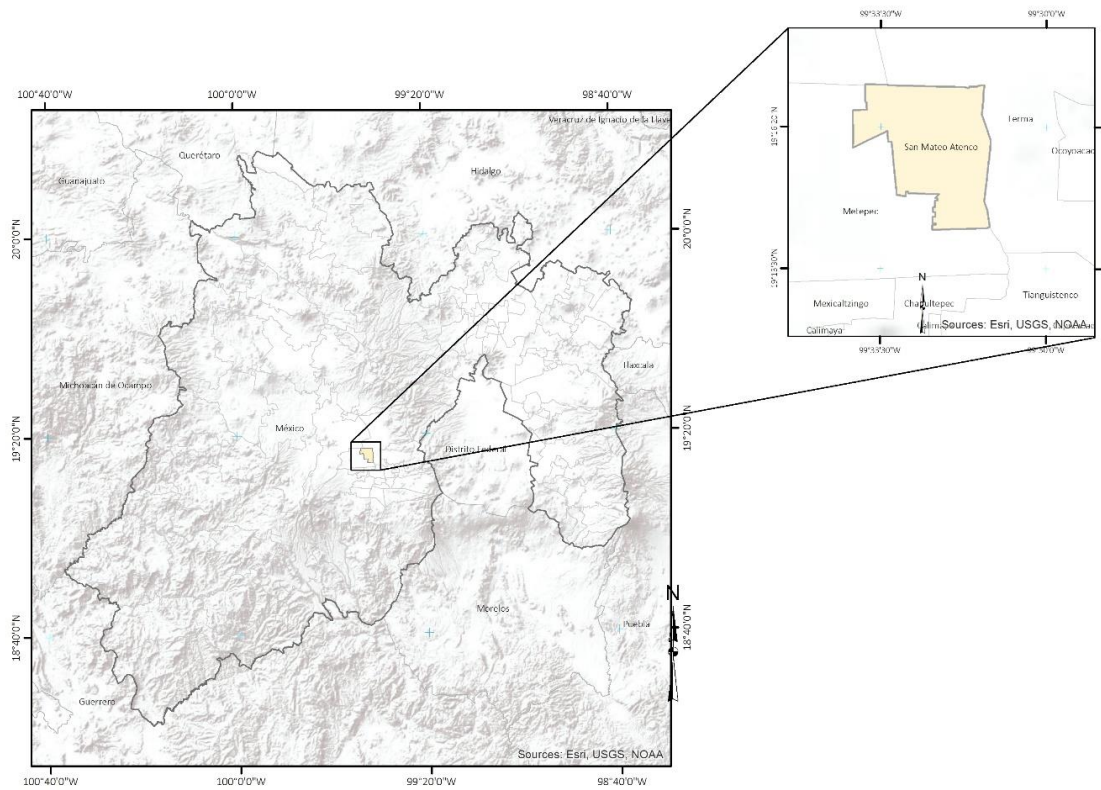


Figura 1. Localización de San Mateo Atenco, municipio perteneciente a la cuenca Lerma-Chapala.

Objetivo

De acuerdo con lo anterior y debido a la falta de información suficiente para el análisis de las inundaciones relacionadas con ambientes de riesgo, el objetivo de la investigación se centra en el análisis del proceso espacial y de la peligrosidad de las inundaciones en el municipio de San Mateo Atenco en el Estado de México, y de manera particular, el estudio de la fenomenología, características funcionales y de la estructura del geosistema con el propósito de precisar el grado de vulnerabilidad.

METODOLOGÍA.

Para el desarrollo de la investigación se consultaron diversas fuentes bibliográficas relacionadas con la zona de estudio y con los riesgos. En el primer plano se destacan las publicaciones de la Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la cuenca del río Lerma (1993); los trabajos de Albores (1995); el de Díaz y Vega (2001); el

Programa Hidráulico Integral del Estado de México (GEM-CAEM, 2003); así como los trabajos de Priego *et al.* (2003 y 2004); el Cotler *et al.* (2006), Atlas Estatal de Riesgos (2013) y el Atlas de riesgos naturales del municipio de San Mateo Atenco (2013).

En el ámbito de los riesgos se destacan los de Burton y Kates (1964); Capel (1983); Tricart (1987), Wilches (1993), Blaikie *et al.*, (1994); Kovach (1995), García (1995), Alexander (2000); Aneas de Castro (2000); Chaparro y Matías (2005), García (2005), Hardy y Sierra (2005), Toscana (2005 y 2006); Ayala y Olcina (2012), Baro *et al.* (2012); Themudo (2013), Enjolras (2015), Espinosa y Hernández (2015); Hunt *et al.* (2015); el Fondo Monetario Internacional (IMF, 2016), y los del World Economic Forum (WEF) publicados en los años 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017 entre otros.

Se realizó la delimitación de la zona de estudio con criterios geomorfológicos basados en rangos de altitud y pendiente general (0.0^0 a 0.5^0 ; 0.5^0 a 1.0^0 ; 1.0^0 a 1.5^0); se clasificó el suelo conforme las condiciones de susceptibilidad a la inundación y la vocación natural del mismo. Por otra parte, se estudiaron las variables vinculadas al desarrollo del proceso de acumulación de agua clasificándolas en dos grupos básicos: las que permiten el desarrollo de las inundaciones y aquellas que se relacionan con la mecánica de funcionamiento de las mismas.

Desde la perspectiva hidrológica se realizó un estudio de frecuencia y recurrencia; éste se basó en datos homogéneos (todas las observaciones provienen de la misma población - estación) e independientes (asegura que un evento hidrológico extremo no se repita en los datos más de una vez). Para establecer la validez, confiabilidad y calidad de los datos se realizaron pruebas estadísticas de homogeneidad a 22 registros de caudales con que se cuenta, las pruebas empleadas fueron: Helmet, “t” de Student y Cramer (dividiéndose en dos bloques, el primero con el 60% de los últimos valores y el segundo por el 30% de los últimos valores).

Para obtener los parámetros de independencia se aplicó la prueba de Anderson con la cual se realizaron siete tiempos de retraso (k) resultando el coeficiente de autocorrelación (r) que se comparó con los límites de confianza inferior y superior del 95%; y después de verificar la homogeneidad de la serie se aplicaron los conceptos vertidos en la Ley empírica de Weibull, mientras que para el análisis de frecuencias se aplicó la distribución de Gumbel por máxima verosimilitud para ajustar la serie de datos. Con los parámetros “v” y “α” se empleó la técnica de momentos con el propósito de encontrar el estimador de los parámetros poblacionales. El procedimiento de iteración se repitió hasta que se cumplió con el criterio de convergencia, donde los valores de C1 y C2 fueran lo más cercano a cero.

Por otra parte, se realizaron pruebas para tener datos finales de frecuencias a partir de la distribución normal y la logarítmica – normal (log-normal).

Para decidir entre los modelos se utilizó el método analítico de datos graficados y se realizó la prueba de bondad de ajuste; ésta proporcionó el mínimo valor estadístico “EE”, donde se

concluyó que los gastos de los modelos seleccionados por la gráfica son los mismos con el desarrollo de la fórmula y, al final una vez calculada la distribución de mejor ajuste de la serie, se calcularon los gastos y los límites de confianza para los periodos de retorno de 5, 15, 20 y 100 años.

La recurrencia de las inundaciones se determinó con el caudal promedio de los datos y se corroboró con la tabla de frecuencias para conocer el periodo de retorno que tendrá y establecer el valor de frecuencia, aunque cabe mencionar que las inundaciones en la zona se producen cada año, los periodos de retorno se establecen en tres categorías: alta ($3.9. T \leq 10$ años); media ($10 < T \leq 50$ años) y baja ($50 < T \leq 100$ años) según criterios modificados de MET-ALARN (2005). Como se advierte, no se consideraron periodos de retorno mayores a los 100 años debido a que las series de datos hidrometeorológicos que existen en la zona no son lo suficientemente extensas (< 50 años) y consistentes para poder extrapolar a periodos de retorno mayores.

Para realizar el cálculo y determinar un único valor de frecuencia, se tomó en cuenta el valor promedio de gastos que es de $6.33 \text{ m}^3/\text{seg}$, que equivalen en la tabla de Gumbel por momentos a un periodo de retorno de 2.3 años, tiempo que a su vez se comparó con el periodo de retorno.

Para el cálculo de la intensidad o magnitud ha sido empleado el análisis de frecuencias de los gastos máximos anuales para proveer la magnitud de un evento de cierto periodo de retorno y para determinar las características físico-geográficas de la llanura de inundación se emplearon fuentes documentales de variables meteorológicas y atributos territoriales como el tipo y forma de utilización del suelo, la clase y distribución de vegetación, la litología y la magnitud de la pendiente entre otras.

En el ámbito socioeconómico, se realizó un estudio de la pobreza estructural endémica con base en los criterios establecidos por el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola (Gordon y Spicker 1999) con el propósito de evaluar los factores que agravan las condiciones de la población en el desarrollo de las inundaciones; y por otra parte se llevó a cabo una valoración general de la alienación clasificando en tres grupos la forma de predisposición mental que hace ver a las inundaciones como: algo inevitable, algo que hay que padecer o un argumento para exigir recursos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Se observó que las características naturales de la zona amplifican el desarrollo de las inundaciones y tienen una retroalimentación positiva con las condiciones de precipitación, tipo de suelo, viviendas construidas en llanuras de inundación y vulnerabilidad de la población. El diagrama que aparece a continuación (Figura 2) representa al grupo de

variables que propician las inundaciones en la zona de estudio, en el cual se aprecia el papel que ejerce la infraestructura sobre el suelo, pues si bien este último tiende a ser permeable las construcciones no permiten el desarrollo natural de anegamiento y desecación, tornándose ello un problema al considerar que el volumen de la precipitación rebasa los 1,900 m³/año.

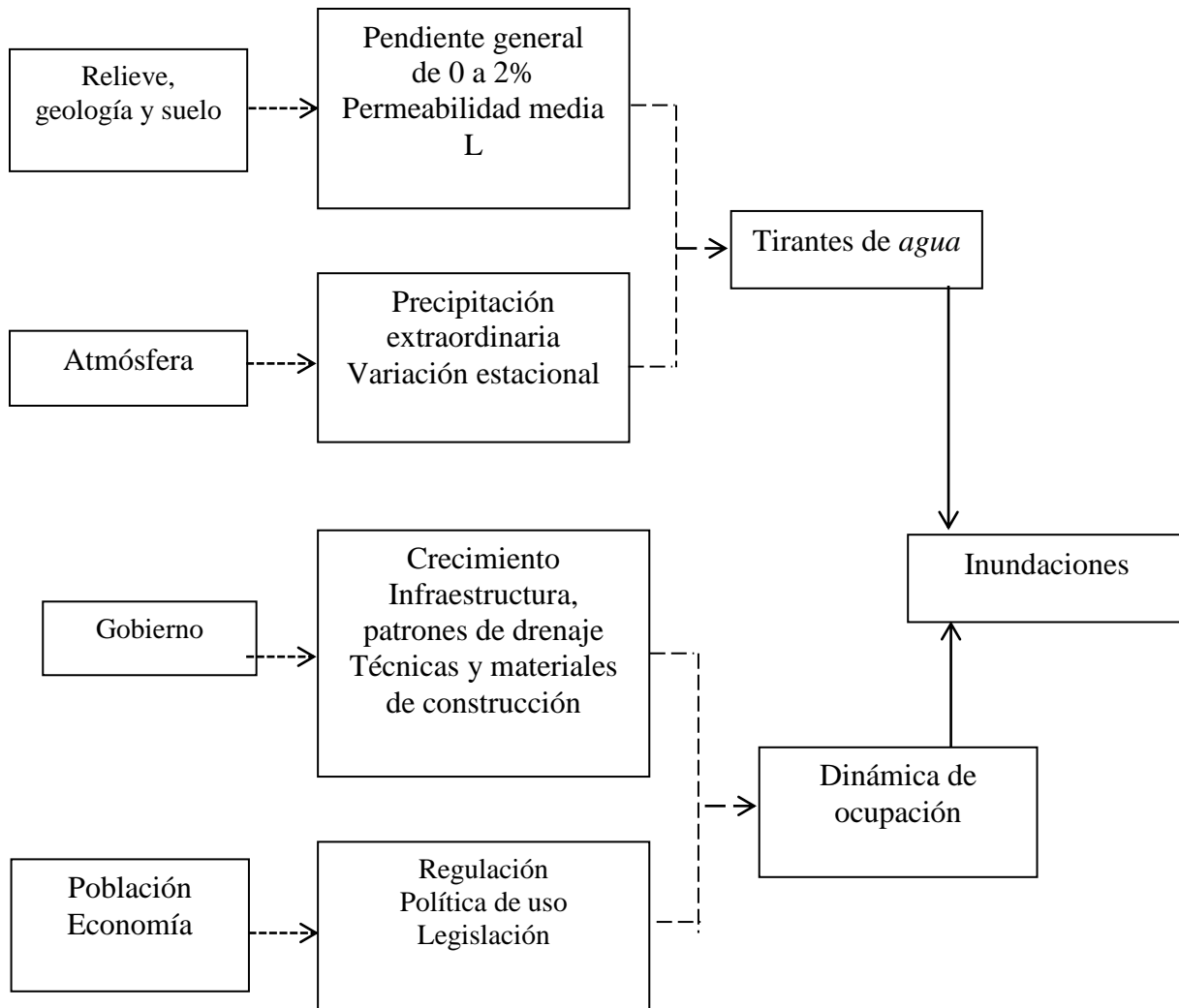


Figura 2. Variables que conforman al geosistema inundación. Fuente: Elaboración propia, 2016.

Las geformas favorecen el proceso de inundación, ello debido a que la mayor extensión territorial del municipio se asientan en la parte baja de un extenso abanico aluvial en donde se encuentran leveés que poseen poca altura sobre la extensa planicie aluvial y las llanuras de inundación; toda vez que el suelo acusa saturación progresiva y rápida, el cual al ver superada la capacidad de infiltración y evacuación, genera un excedente pluviométrico que permanece en la superficie por un lapso de tiempo indefinido; no obstante, las condiciones antrópicas como urbanización y deficiencia de drenaje influyen en la ralentización del proceso de recuperación natural.

Por lo que se refiere a la dinámica y mecánica del proceso se estima que las variables más importantes se centran en:

- a) La vocación lacustre del suelo: la mayor parte de la zona urbanizada se localiza sobre suelos clasificados como fluvisoles que manifiestan evidencia de dinámica fluvial; alternan con histosoles que se caracterizan por la alta capacidad de retención de agua y; suelos feozem que permiten el proceso de lixiviación por cambios en el régimen de humedad; condición que prevalece en el 87% de la superficie del municipio.
- b) Pendiente general del terreno (Grado de inclinación del terreno): se considera como un factor que induce a las inundaciones, ello debido a que el agua no tiene un medio de desplazamiento continuo y se ve obligada a estancarse en una topografía peniplana -casi horizontal- que presenta un ángulo de inclinación menor a 2%, es decir inferior a 1.2°.

Entre los factores activadores de las inundaciones en ésta zona se encuentra el incremento considerable y momentáneo de la alimentación de una cuenca, la sección de cauces reducidos u obstruidos (colmatados) y el angostamiento de cauces por obras de infraestructura.

En el primer caso la precipitación varía entre los 700 a los 825 milímetros anuales sin embargo, en tiempos extraordinarios el promedio rebasa 1,200 mm, característico de un régimen de lluvias en verano e invierno seco de un clima templado tipo C, según la clasificación climática de Köppen. En cuanto a gastos promedio de la estación se observa en la gráfica que no hay un patrón definido ya que de un año a otro los datos pueden ser diferentes como se observa en los años 1981 y 1982 (Figura 3).

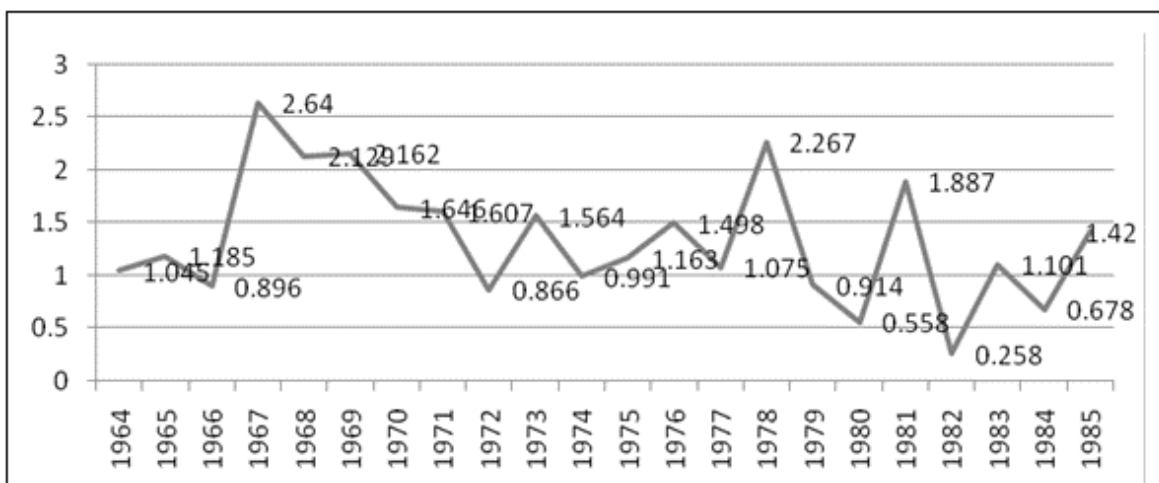


Figura 3. Gasto promedio anual, estación 12,451. Fuente: IMTA, BANDAS, 2005.

Como resultado de la interacción de las variables como el tipo de suelo, pendiente general del terreno, colmatación de cauces, el uso de suelo y la deficiente o inoperante infraestructura hidráulica, las inundaciones presentan un comportamiento espacial determinado en la periferia del cauce principal del río Lerma como se observa en la Figura 4.

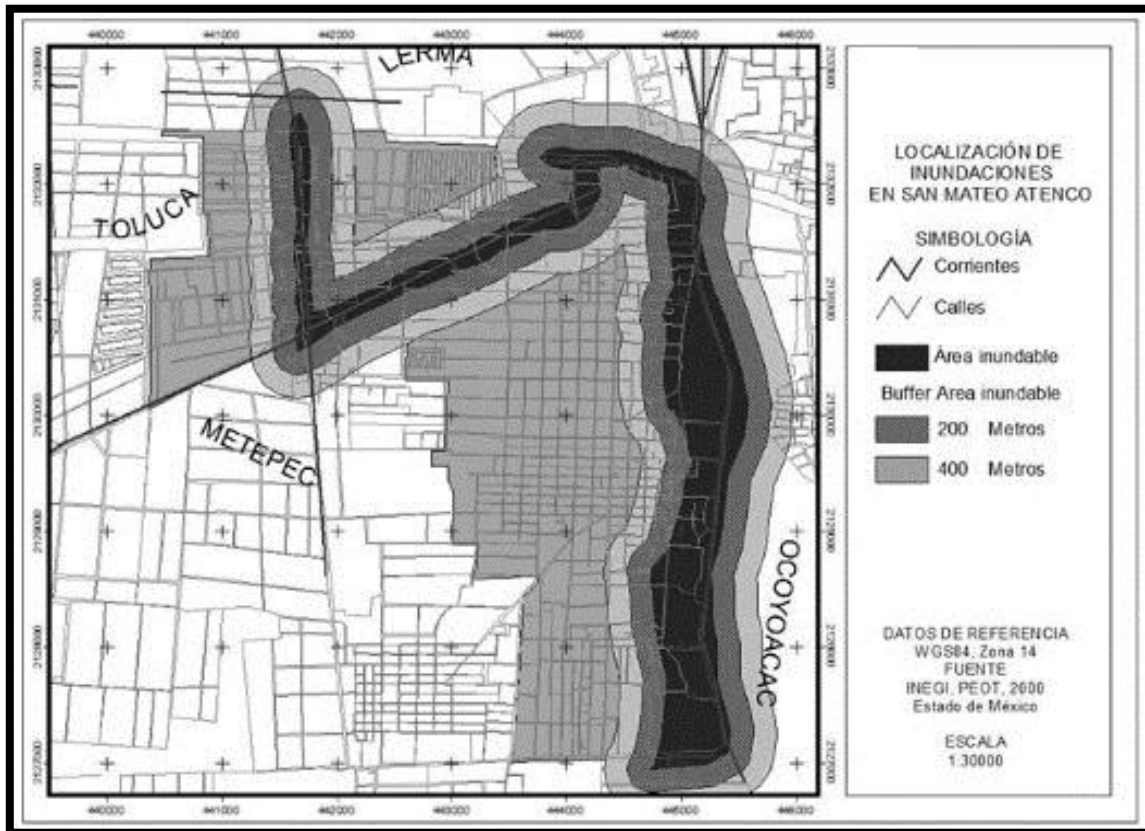


Figura 4. Distribución espacial de las inundaciones en San Mateo Atenco.

De acuerdo con lo anterior, se observa que el proceso incrementa de magnitud conforme se desarrolla y avanza sobre el territorio con el dominio de comportamientos extremos en los componentes ambientales; ello provoca una retroalimentación positiva en el sistema exhibiendo un aumento en los caudales comprendidos entre 0.099 m³/seg hasta 22,000 m³/seg mensuales en diferentes años y en algunas zonas deficiente drenaje.

Frecuencia, recurrencia o periodo de retorno

La complejidad de las inundaciones y la información disponible hace difícil tener estimaciones confiables de la frecuencia de este proceso, es por eso que se recurrió al

análisis hidrológico con la aplicación de conceptos de la teoría de probabilidad y estadística; empleándose así seis pruebas:

1. Estadística de Helmet: al analizar el signo de las desviaciones de cada evento de la serie con respecto al valor medio, se sabe si se tiene una secuencia en los datos o un cambio. En el caso de los datos se contabilizaron 8 secuencias y 13 cambios y con la tolerancia correspondiente resulta que la serie no es homogénea.
2. Estadística “t” de Student: el valor resultante de “t” que es 0.57468863 se comparó con el valor de la distribución t de Student de dos colas de y 20 grados de libertad y para un nivel de 0.05, por lo que se concluye que el valor absoluto de “t” no es mayor que 2.086 por lo tanto la serie se considera homogénea.
3. Estadística de Cramer : al obtener el valor de “t” de cada muestra y compararla con t de student se obtuvo lo siguiente

$$\begin{array}{lcl}
 t = 0.1091660 & </- & 2.086 \\
 t = 0.0471708 & </- & 2.086
 \end{array}$$

Al contar con los tres resultados para probar la homogeneidad de los datos, se concluye que la serie de 22 datos de caudales pertenecientes a la estación 12,451, son homogéneos ya que pasaron dos de tres pruebas.

4. Independencia de Anderson: se realizaron 7 tiempos de retraso (k) resultando el coeficiente de autocorrelación (r) obteniéndose los siguientes datos:

Tabla 1. Prueba de independencia de Anderson

Prueba de independencia de Anderson			
k	Límite inferior	r	Límite superior
1	-0.45372038	-0.21581628	0.369780308
2	-0.45372038	0.332842373	0.377172096
3	-0.45372038	-0.188965004	0.385030302
4	-0.45372038	-0.255960073	0.393404835
5	-0.45000000	-0.008106934	0.402352941
6	-0.45372038	-0.176790088	0.411940460
7	-0.45372038	0.037684329	0.422243232

5. Ley empírica de Weibull: como se puede observar en la tabla siguiente la serie al ser ordenada por los caudales de mayor a menor se obtuvo que el periodo de retorno mayor de 23 años con un caudal de 11.2 m³/seg que registra una probabilidad de no ocurrencia de 0.95; mientras que el menor periodo de retorno se presentaría con 1.749 m³/seg en 1.04 años es decir una presencia anual.

Para entender de manera gráfica éstos datos, se construyó la Figura 5 donde se observa que el periodo de retorno y la probabilidad de no excedencia disminuyen de manera similar con relación al caudal, es decir a mayor caudal mayor probabilidad de excedencia y periodos de retorno más lejanos.

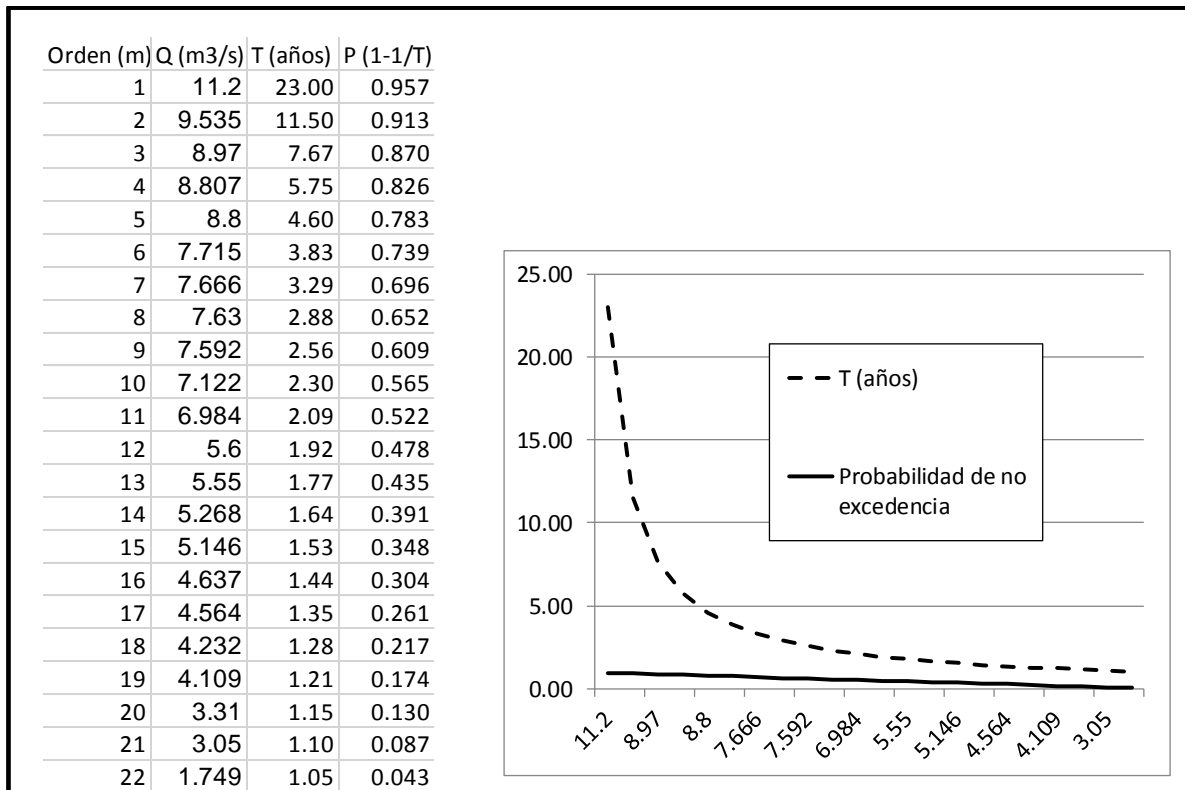


Figura 5. Datos y gráfica de la Ley empírica de Weibull.

6. Distribución Log-Pearson tipo III: el ajuste de los datos se observa en la gráfica siguiente donde aparecen los métodos utilizados para el análisis de frecuencias de las inundaciones de San Mateo Atenco, concluyendo que los de mejor ajuste son log-normal y de Gumbel por el método de momentos, los demás datos se pueden

observar que subestiman los gastos reales que se muestran en la línea más gruesa (ver Figura 6).

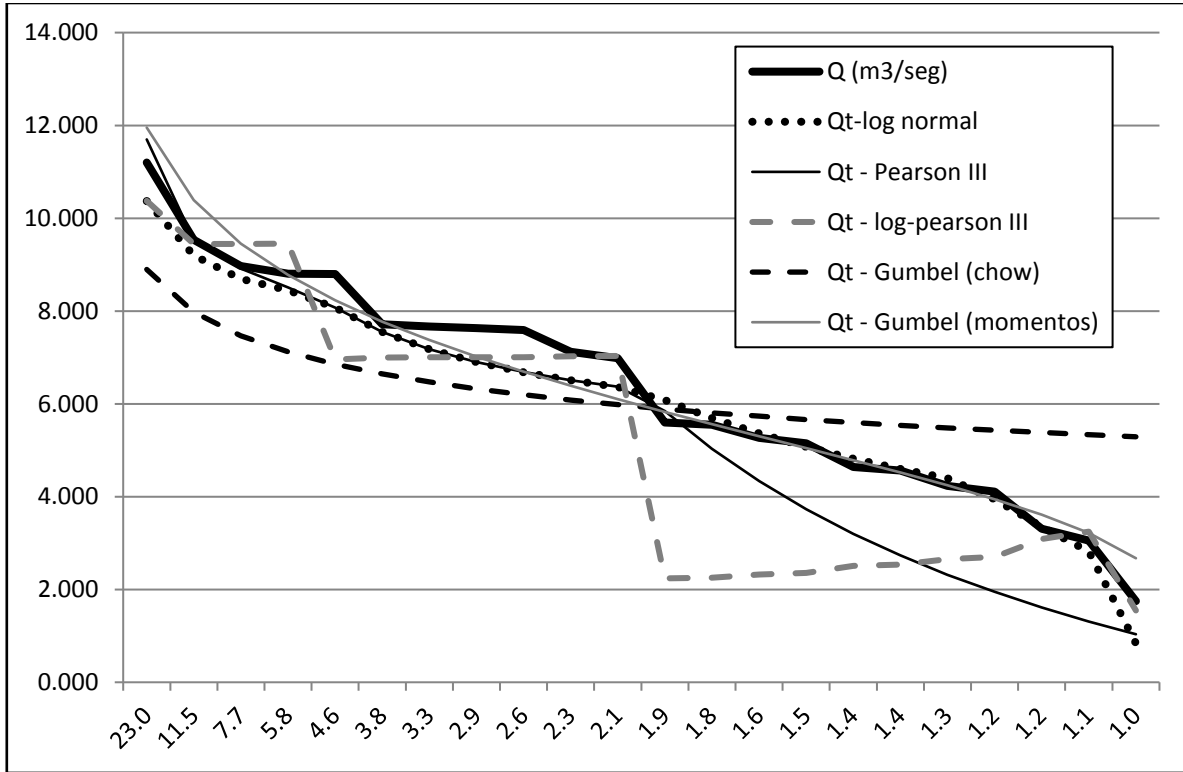


Figura 6. Ajuste de gastos. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Eventos de diseño y límites de confianza de la distribución log-normal por máxima verosimilitud ajustada a los gastos máximos anuales de la estación 12,451.

Eventos de diseño y límites de confianza		
T	Kt	Qt
5	0.84	8.346
15	1.384	9.653
20	1.656	10.306
100	2.368	12.015

Los caudales estimados para los periodos de retorno señalados muestran que en ambos métodos, un evento de más de 12 m³/seg ocurriría al menos una vez en un periodo de 100, sin embargo en la zona los eventos de inundaciones son anuales aunque no con la misma magnitud.

Intensidad o magnitud

Al realizar las operaciones con las alturas de la imagen en diferentes tiempos de retorno se observa que el 50% del territorio municipal se encuentra en peligro de inundación debido a que las condiciones peniplanas del relieve; observándose que la probabilidad de ocurrencia aumenta conforme el periodo de retorno se incrementa (ver Figura 7 y Tabla 3).

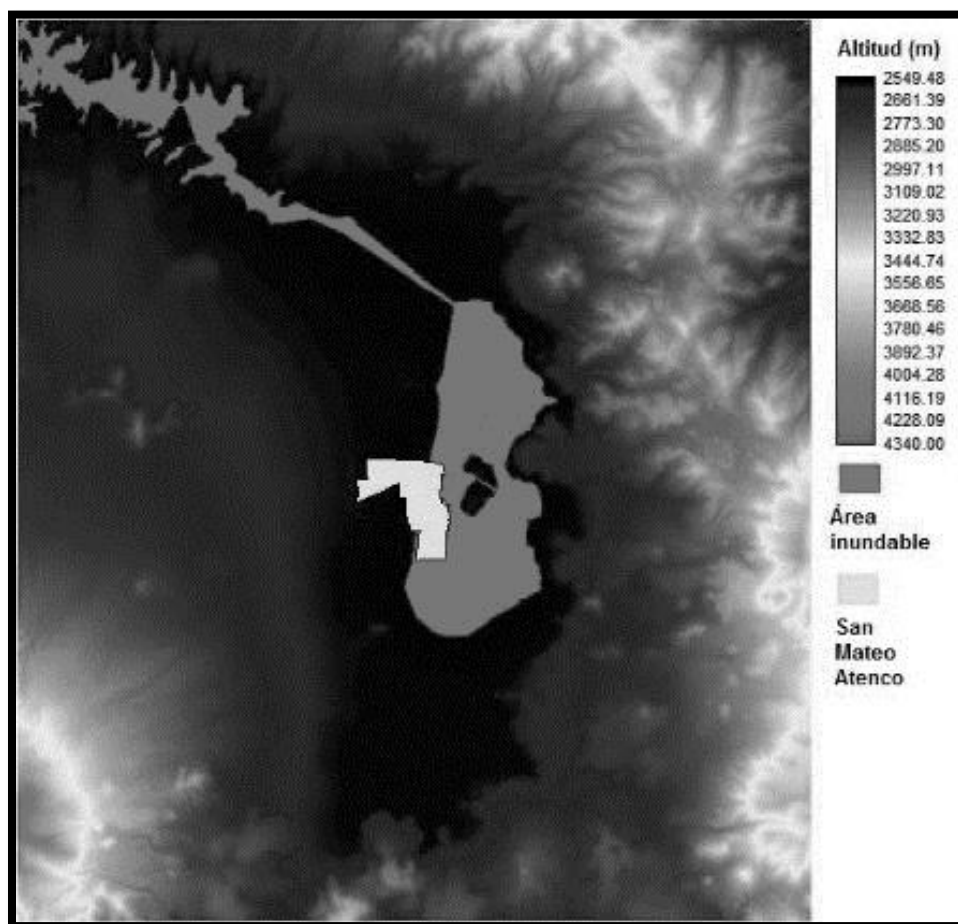


Figura 7. Planicie de inundación. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior, en la Tabla 3 se encuentran los datos encontrados para los periodos de retorno referidos.

Tabla 3. Cálculo de altura de inundación. Fuente: elaboración propia.

Periodo de retorno (años)	Cálculo de altura de inundación		
	Probabilidad	Gasto (m ³ /s)	Altura (cm)
5	0.80	8.434422885	0.14602533
15	0.93	10.99370532	0.19033424
20	0.95	11.64004536	0.20152434
100	0.99	15.19386165	0.26305163

En otro orden de ideas, el proceso de inundación se desarrolla dentro de una subcuenca, donde se desplazan los materiales líquidos y transporte de sedimentos hacia las partes más bajas de ésta, en donde existen diversos afluentes que aportan material y energía al río principal; las partes más altas en la geoforma desplazan por gravedad todos los elementos a áreas de menor altitud hasta encontrar zonas con similar nivel donde tenderá a acumularse y en algunas zonas se desarrollaran inundaciones como es el caso de la zona poniente municipal.

Como se puede observar en la Figura 8, dentro de la subcuenca existen diferentes altitudes que constituyen el principal motor para el desplazamiento del agua hacia las zonas con menor altitud en la mayor parte del área urbana; casi imperceptible, que se manifiestan con pequeños desniveles de centímetros los que condicionan el escurrimiento.

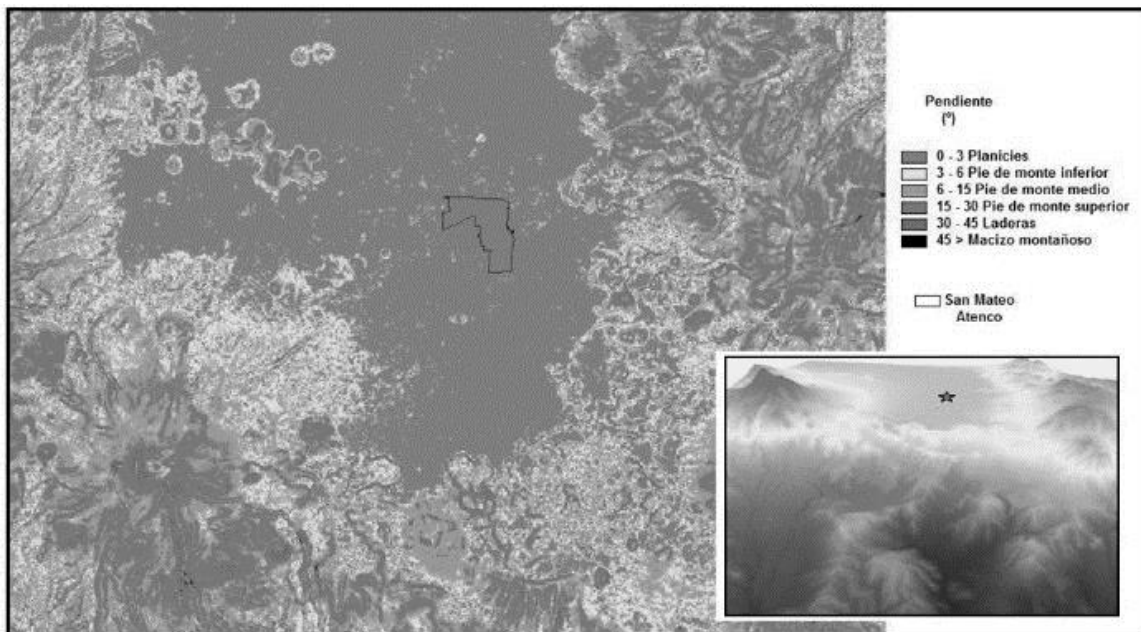


Figura 8. Pendientes reclasificadas y FlyThrough en 3D Fuente: Elaboración propia.

Características funcionales y estructura del geosistema

En el geosistema antecedente se genera el proceso. La expresión territorial abarca todos los elementos del medio natural que favorecen la incubación del proceso; este es autónomo y dispersor de energía y los materiales condicionan el arreglo espacial de los geosistemas subsiguientes.

Las inundaciones son producto de la acumulación de escurrimientos que provienen de las zonas donde la geomorfología expresa mayor altitud; el promedio de volumen de masa de agua en escurrimiento es de 42,386 m³ y el promedio del gasto máximo es de 6 m³/seg.

Con los datos de gastos máximos se identifican los años en que los límites promedios son sobrepasados, es decir si los valores de gastos son mayores que el promedio, existe la probabilidad de que se saturen los límites naturales de caudal. De los 22 años que se tiene registro, 11 se encuentran por encima del promedio de gasto máximo anual que es de 6.33m³/ seg, teniendo las mayores escalas, lo que implica que la mayor parte de los gastos sobrepasan los límites promedios y son peligrosos para el desarrollo de inundaciones.

Los gastos máximos que se tiene registro en la estación 12,451 perteneciente a San Mateo Atenco mostrados en la Figura 9 muestran que los meses de Agosto, Septiembre y Octubre son los mayores índices de gastos lo que se traduce en la presencia estacional de las inundaciones y los dos años con mayor registro de caudales son 1968 y 1978 con una diferencia de 10 años.

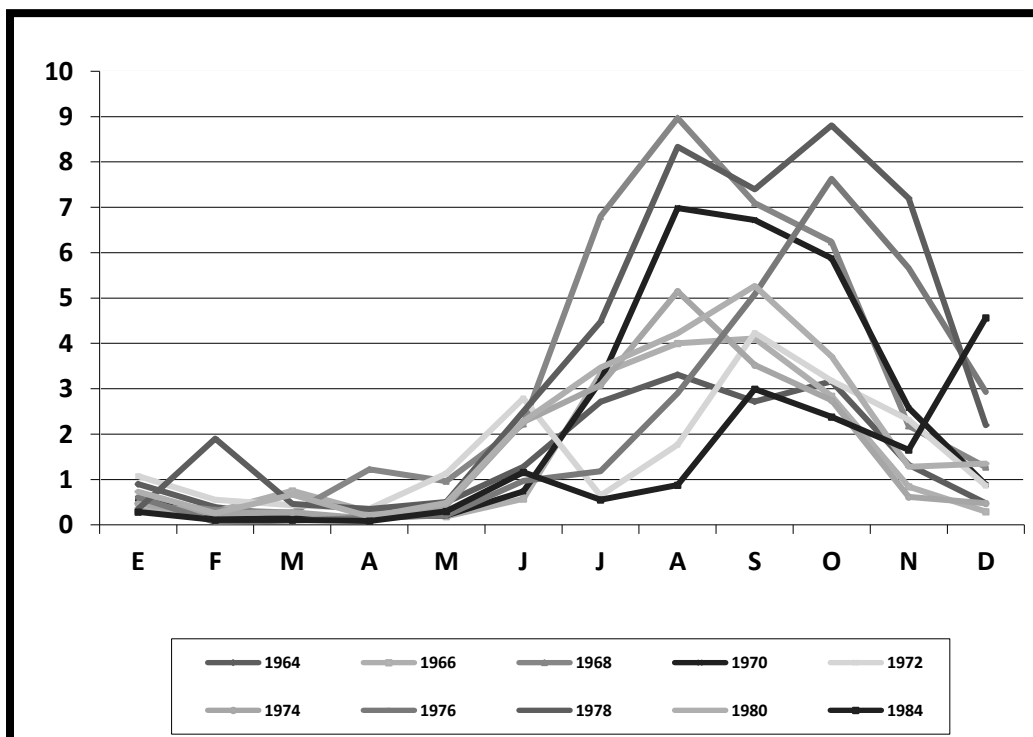


Figura 9. Gastos máximos mensuales estación 12,541; m³/seg

Entre tanto, resulta importante considerar que el desarrollo de las inundaciones posee diferentes variables que determinan el desarrollo de cada proceso, entre ellas se destaca la vocación natural del suelo lacustre y el establecimiento de viviendas en zonas sujetas a inundaciones; por otra parte existen condiciones sociales que agravan las condiciones de la

población en el desarrollo de las inundaciones, por ejemplo, la pobreza en el municipio tiene una liga entre la relación espacial y el proceso de las inundaciones, ello debido a que las viviendas más precarias se encuentran en las llanuras de inundación, al borde del río o sobre él; cabe mencionar que los servicios también son frágiles y las vías de acceso deficientes e inoperables cuando se encuentran cubiertas por espejos de agua con diferente tirante.

Por otra parte, el aislamiento de la población que vive en áreas sujetas a inundación genera marginación, las condiciones de las calles dificultan el acceso a las viviendas, los caminos hacia las casas son deficientes; en dichos sitios, los costales son el único medio por donde se puede caminar debido a que los pobladores y autoridades civiles disponen de ellos colocándolos de forma transversal y paralela a los cauces.

CONCLUSIONES.

Se observa que el geosistema que representa al territorio estudiado muestra una clara diferenciación de las zonas de emisión, transporte y recepción.

La primera está caracterizada por el lecho del río Lerma desde las cabeceras localizadas en Almoloya del Río, la materia transportada se transporta con altos niveles de energía mientras que en la zona de transporte, las características del relieve hacen que el agua de lluvia y el material de carga circule por la superficie de la cuenca a través de los afluentes hasta sumarse al cauce principal; alguna cantidad de ésta agua no continua debido a que se infiltra en el suelo y el subsuelo para formar las aguas subterráneas y lagos oxbow.

En la zona de recepción se encuentra la mayor cantidad de materia de sedimentos que quedan en el talweg, el movimiento de esta materia es léntico lo que propicia que el agua transportada se estanque y cuando existe una precipitación extraordinaria provoca un superávit en el caudal lo que desencadena inundaciones en las márgenes inmediatas al río. El arreglo en la estructura geosistémica tiende a ser radial-lineal ya que a partir de un núcleo generador que es el lecho del río se establecen áreas concéntricas de afectación debido a que la zona de estudio es una planicie lacustre se sigue patrones anulares, sin embargo el diseño y la distribución espacial de la infraestructura altera el desarrollo natural del proceso debido a que existen áreas pavimentadas que actúan como un acelerador para el transporte del agua o forman barreras que favorecen la acaparamiento de agua.

La expresión de peligrosidad del proceso es “simple” debido a que las inundaciones como tal no desencadenan otros procesos de origen natural; no obstante, se observan efectos secundarios derivados de la presencia de las inundaciones como infecciones sanitarias,

tráfico, cierre de calles, afectaciones a la operación y al equipamiento industrial entre otros ya descritos.

Desde la perspectiva de la vulnerabilidad parcial – componentes abióticos-, se advierte que como resultado de las obras de extracción de agua de 230 pozos y 170 kilómetros de acueductos que aportaban más de 14 m³/s al Distrito Federal en 1970 modificaron los sistemas lacustres de la zona de manera casi irreversible. Existen relictos del paisaje original que funcionan como trazadores de nivel de base local de la recarga acuífera que se efectúa en cumbres y laderas de la cabecera de la cuenca alta del río Lerma, en donde es posible ubicar el origen del río por la vertiente nororiental del Nevado de Toluca en donde varios torrentes fluyen hacia el norte, noreste y oriente.

Las condiciones naturales del área de la subcuenca resultan peligrosas para la población que se estableció en el lecho y áreas aledañas debido a que al ser parte de un sistema lacustre, conservan latente el proceso de incremento de tirante de agua, en donde, las geoformas revelan predisposición estática al dispersar la energía y la materia; en este caso de manera lenta la acumulación de sedimentos a través del talweg se incrementa permitiendo el desarrollo de las inundaciones que se presentaran en las áreas marginales del río en donde la infraestructura actúa como un obstáculo para la expansión del agua.

Al considerar la configuración morfológica del municipio se advierte que los cambios de altitud y los consiguientes desniveles actúan como barreras para el paso del agua, sin embargo, se puede observar que también existen otros problemas en áreas pobladas no cercanas al río que también se ven afectadas por las inundaciones. Éstas se registran por la saturación de los canales, así como de la red de drenaje profundo que comprende a los municipios de Toluca, Metepec, Zinacantepec, afectando a los barrios y las colonias de la entidad, lo que a su vez genera conflictos viales.

Asimismo, y de acuerdo con la topografía, al observar los datos de registros de inundaciones y saturación de canales se puede entender que los barrios que están inmediatos al río Lerma presentan inundaciones producto del desborde del canal y que la dinámica tiende a ser progresiva según la pendiente general del terreno y las edificaciones que se constituyen como barreras y/o cauces artificiales.

Por otra parte, la permeabilidad tiende a ser baja, primaria o semi permeable, motivo por el cual existe una disposición limitada de espacios porosos en el sustrato geológico y que al saturarse ralentizan la movilidad de la materia y prolongan los tiempos de infiltración mientras que la acumulación de aluvión amplifica el proceso de las inundaciones.

La cantidad, localización y temporalidad del agua es el factor principal condicionante de vulnerabilidad ambiental para las inundaciones. El régimen fluvial se muestra en dos condiciones al parecer opuestas ya que la primera mitad del año los datos de gastos registrados son bajos a comparación de la última mitad del año donde se llegan a cuadruplicar.

BIBLIOGRAFÍA.

Albores, B. (1995). *Tules y sirenas. El impacto ecológico y cultural de la industrialización en el alto Lerma*, Zinacantepec: Colegio Mexiquense Secretaría de Ecología, Gobierno del Estado de México.

Alexander, D. (2000). *Confronting Catastrophe. New Perspectives on Natural Disasters*, Oxford, Nueva York: Oxford University Press.

Aneas de Castro, S.D. (2000), *Riesgos y peligros: una visión desde la Geografía*. Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, n1 60

Ayala J. y Olcina J. (2002). Riesgos naturales. Ed. Ariel Ciencia. Barcelona, 1512 p.

Banco Interamericano de Desarrollo (2007). Indicadores de riesgo y desastre y de gestión de riesgo. Informe resumido; Departamento de Desarrollo Sostenible, División de Medio Ambiente. Washington D.C., 54 p.

Baro J., Calderón G., Esteller M., Cadena E. y Franco R. (2012). Metodología para la valoración económica de daños tangibles directos por inundación. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, 167 p.

Blaikie, P., T. Cannon, I. Davis y B. Wisner (1994). *At Risk. Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. Londres y Nueva York: Routledge.

Burton y Kates (1964). The perception of natural hazards in resource management. *Natural Resources Journal* No. 3 (3). pp. 412-441.

Capel Molina J.J. *El clima de la España Cantábrica. Las inundaciones de agosto de 1983 en el País Vasco*, Cantabria y Navarra Atlántica. Almería: La Crónica de Almería, 1983. 145

Chaparro E. y Matías R. (2005). Elementos conceptuales para la prevención y reducción de daños originados por amenazas socionaturales. Cuadernos de CEPAL No. 1 138 p.

Cotler H., Mazari A. y de Anda J. (2006). Atlas de la Cuenca Lerma- Chapala. Construyendo una visión conjunta. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología-Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F., 198

Díaz C. y Vega G. (2001). *Análisis de gran visión de las inundaciones en la cuenca alta del río Lerma: caso de la subcuenca del río Tejalpa*, Estado de México. Centro Interamericano de Recursos del Agua, Ingeniería hidráulica en México XVI (1) 73-86.

Enjolras B. (2015). Measuring the impact of the third sector: from concept to metrics. TSI Working Paper No. 5, Seventh Framework Programme (Grant agreement 613034), European Union. Brussels: Third Sector Impact.

Espinosa L. (2001). Elementos geomorfológico-cuantitativos del piedemonte nororiental del volcán Nevado de Toluca. En: *Ciencia Ergo Sum* Universidad Autónoma del Estado de México.

Espinosa L. y Hernández J. (2015). Estudio del riesgo. Análisis multifactorial, multinivel y multitemporal. En: *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*. 6(14):1-27 ISSN: 2007-512X

Faugères L. (1991). La géocynidique, géo-science du risque. En: *Bull. Assoc.*

García V. (2005). El riesgo como construcción social y la construcción social del riesgo. En: *Desacatos*, No. 13 CIESAS México, pp. 11-24.

Garrido, A., Cotler, H. y Enríquez, C. (2006). Geomorfología y suelos, pp. 12-13. En: *Cotler*

Gobierno del Estado de México (1993). Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la cuenca del río Lerma. GEM. "Atlas Ecológico de la cuenca hidrográfica del río Lerma". Tomo I Cartografía.

Gobierno del Estado de México-CAEM. (2003). Programa Hidráulico Integral del Estado de México.

Gobierno del Estado de México (GEM, 2013) Atlas Estatal de Riesgos. Disponible en línea en: caem.edomex.gob.mx/atlas_de_inundaciones.

Gobierno del Municipal de San Mateo Atenco (2013). Atlas de riesgos naturales del municipio de San Mateo Atenco. Disponible en línea en: www.anr.gob.mx/Docs/2013/15076_AR_SM_ATENCO.pdf

Gordon D. & Spicker P. (1999). *The international glossary on poverty* Gordon D. & Spicker P. (eds.) (Londres: Zed Books).

Hardy S. y Sierra M. (2005). Territoires et acteurs des risques "naturels" en Amérique latine. Les cas des villes de Managua (Nicaragua) et de Quito (Equateur). Université Paris. 85-95 p.

Hunt V., Layton D. and Prince S. (2015). Why diversity matters. McKinsey & Company. Adapted from the report *Diversity Matters*. Disponible en: www.mckinsey.com/business-functions/organization. Consultado en febrero de 2017.

IMF (International Monetary Found, 2016). Corruption: costs and mitigating strategies. IMF Staff Discission Note SDN/16/05. Disponible en: www.imf.org/external/pubs/ft/sdn/2016/sdn1605.pdf

Kovach R. (1995). Eath´s fury. An introduction to natural hazards and disasters. Prentice Hall, New Jersey, 214 p.

Organización de Naciones Unidas (ONU, 1977). *Directrices para la prevención y regulación de las pérdidas debidas a las inundaciones en los países en desarrollo*. Recursos Naturales. Serie del agua No. 5, Nueva York, E.U.

Palacio, A. (1995). Ensayo metodológico geosistémico para el estudio de los riesgos naturales. Tesis de Maestría en Geografía. UNAM. México. 119 pp.

Priego A., Isunza E. Luna N. y Pérez J. (2003). Cuencas hidrográficas de México a escala 1:250,000 (Metadato). Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas, Secretaría de medio Ambiente, México.

Priego A., Cotler H., Fregoso A., Luna N., Enríquez C. (2004). La dinámica ambiental de la cuenca Lerma-Chapala. Gaceta Ecológica, No. 1, marzo-junio. Pp 23-38.

Themudo S. (2013). Reassessing the impact of civil society: Nonprofit sector, press freedom, and corruption. *Governance: An International Journal of Policy Administration, and Institutions* 26 (1): 63-89.

Toscana, Alejandra (2006). *Los Paisajes del Desastre*, Tesis de doctorado, División de Estudios de Posgrado, FFyL, UNAM.

Toscana, Alejandra. (2005). *La vulnerabilidad ex post: la cooperación en a mitigación de los desastres*, en Veredas. Revista del Pensamiento Sociológico, año 6, no. 11, pp. 57-72.

Tricart J. (1987). Algunos aspectos de las relaciones entre el hombre y los ecosistemas. En Revista de Divulgación Geográfica del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. No. 7, México, 15-30 p.

Wilches-Chaux G. (1993). “*La vulnerabilidad global*” en Andrew Maskrey (comp.). Los desastres no son naturales, Tercer Mundo Editores, Colombia.

World Economic Forum. (2013). The global risks, Report 2013. Committed to improving

the state of the world. Insight report, 8th edition. Disponible en www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalRisks_2013. 80 p.

World Economic Forum. (2014). The global risks, Report 2014. Committed to improving the state of the world. Insight report, Ninth edition. Disponible en www.reports.weforum.org/global-risks-2014. 60 p.

World Economic Forum. (2015). The global risks, Report 2015. Committed to improving the state of the world. Insight report, 10th edition. Disponible en www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_2015_Report15. 609 p.

World Economic Forum. (2016). The global risks, Report 2016. Committed to improving the state of the world. Insight report, 11th edition. Disponible en: www3.weforum.org/docs/Media/TheGlobalRisksReport2016. 103 p.

World Economic Forum. (2017). The global risks, Report 2017. Committed to improving the state of the world. Insight report, 12th edition. Disponible en: www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2017. 78 p.