



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Geografía



Tema de Tesis:

**Caracterización Geomorfológica para la Estimación General de
Riesgo de Inundación en el Municipio de Tlacotalpan Veracruz**

Presenta:

Jacqueline Velázquez Palomares

Asesor:

Dr. Luis Miguel Espinosa Rodríguez

Marzo de 2017

Índice

Índice de Figuras

Resumen

La elaboración de este documento responde a la necesidad de integrar la parte física, ambiental y social para profundizar el conocimiento sobre el riesgo. De acuerdo con lo anterior el objetivo principal de esta investigación, es caracterizar y analizar la geomorfología del municipio para estimar el riesgo de inundación a través de la Ecuación General del Riesgo (EGR), propuesta por Espinosa y Hernández 2012, la cual representa un análisis multifactorial, multinivel y multitemporal, recabado en trabajo de campo a través de encuestas implementadas a la población de la zona afectada. Esta metodología se encuentra en proceso de validación y es tomada como base de esta investigación para obtener las variables que compone a la ecuación y así obtener una posible solución.

La presente investigación se orienta hacia el establecimiento de una zonificación de la susceptibilidad del medio natural, a partir del conocimiento de sus formas y procesos, así como la identificación y evaluación del riesgo, con un mapa por manzana en la localidad urbana, determinando las áreas y bienes con mayor exposición ante una inundación.

Este proyecto evalúa la capacidad de resiliencia del municipio ante posibles inundaciones, así como la posibilidad de implementar medidas estructurales para la solución del problema, sirva como base de análisis y respuesta ante la toma de decisiones.

Abstract

Introducción

El Estado de Veracruz posee un amplio capital natural, pues posee 8 de las 35 provincias geológicas del territorio nacional, la mayoría de ellas pertenece a rocas del cretácico superior, terciario y cuaternario. (Atlas de Riesgos, 2011).

Presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, con un 74% de humedad, su rango de temperatura va de 24° a 28°C anualmente, con una precipitación de 1400 a 2100 mm. Así mismo, la hidrología de la entidad se compone de 20 cuencas, 12 principales y 8 subcuencas, por las que escurre aproximadamente la tercera parte del agua fluvial de todo el país. (Atlas de Riesgos, 2011).

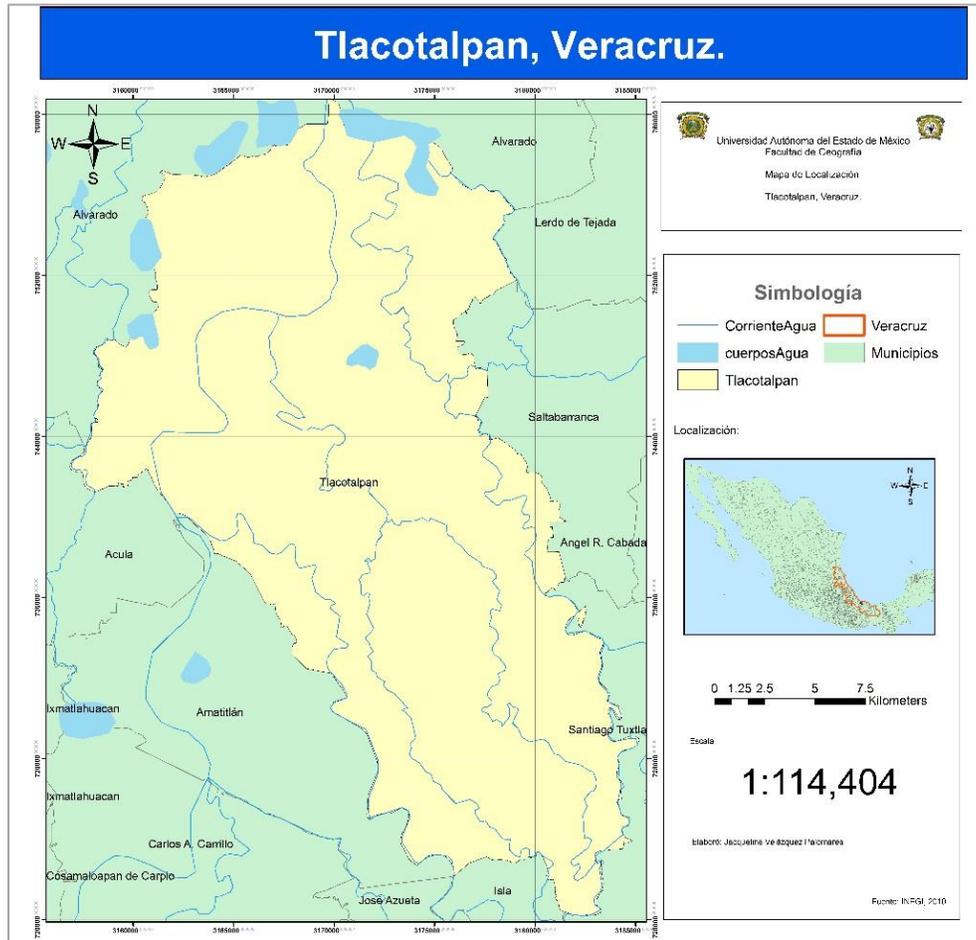
Debido a la ubicación geográfica, fisiografía y sus asentamientos poblacionales en la llanura fluvial se encuentra expuesto a fenómenos naturales siendo los hidrometeorológicos los más comunes (SEFIPLAN, 2014), determinado por factores como: el clima, la geología, la morfometría fluvial y la influencia humana, para que se pueda producir una inundación. La relación entre cada uno de estos factores condicionará la magnitud del riesgo por avenidas de agua (Geólogos del Mundo, 2007).

El área de estudio del presente trabajo, se encuentra localizado en el municipio de Tlacotalpan, Estado de Veracruz, entre los paralelos 18° 20' 43" de latitud norte; los meridianos 95° 30' y 95° 46' de longitud oeste; con una altitud de entre 5 y 10 m. (Véase ilustración 1). Cuenta con una superficie total de 577.6 km², el cual representa el 0.8% de la superficie total del estado. Es conformado por 144 localidades de las cuales 1 es urbana y las restantes rurales, con una superficie total de 577.6 km², y una densidad de población de 23.0 hab/km² (INEGI 2010).

Colinda al norte de los municipios de Alvarado y Lerdo de Tejada; al este con los municipios de Lerdo de Tejada, Saltabarranca y Santiago Tuxtla; al sur con los municipios de Santiago de Tuxtla, Isla, José Azueta y Amatitlán; al oeste con los municipios de Amatitlán, Acula y Alvarado.

El municipio de Tlacotalpan, forma parte del sitio declarado como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO desde 1998. Sin embargo a través de los años sus

asentamientos poblacionales en la planicie fluvial, se encuentra expuesto a diversos fenómenos perturbadores de origen natural como son las inundaciones.



Mapa 1. Localización del Municipio de Tlacotalpan Veracruz

La frecuencia de las inundaciones en Tlacotalpan, han sido relevantes. Se tiene registro de que en 1522, 1714, 1831, 1875, 1888, 1927 y 1937 se presentaron inundaciones de consideración en Tlacotalpan. En 1944 se presentó la más veloz de todas las que se tenían registradas, el agua alcanzó un nivel muy alto a una velocidad rápida, y tardó ocho días en volver a su cauce (Lozano y Nathal, 1991). Después, en septiembre de 1969, se presentó otra inundación incluso más severa que la de 1944. En esta ocasión el agua superó los dos metros de tirante y duró cuarenta días dentro de la Ciudad. En el año 2010 se presentó La tormenta tropical Alex, la cual afectó el Estado de Veracruz a finales de junio, dejando abundantes lluvias en todo el Golfo de México, y las lluvias atípicas continuaron durante todo el mes de julio. Los niveles de almacenamiento de las presas Cerro de Oro y Temazcal

alcanzaron un nivel crítico, por lo que se ordenó el desfogue paulatino de los vasos. Se emitió una alerta preventiva para todas las comunidades de la Cuenca del río Papaloapan confirmando a 46 municipios y 40 mil personas afectadas por las crecidas de los ríos Papaloapan y Coatzacoalcos (Milenio Diario, 2010).

El día 28 de agosto comenzó el agua a invadir las calles de la Ciudad de Tlacotalpan. Justo un día después, el 29 de agosto, se anuncia la formación de la “Tormenta Perfecta”: se suman un frente frío, una onda tropical y una vaguada tropical. El número de municipios y personas afectados suben a 75 y 100 mil, respectivamente (MSN Noticias). Para el 7 de septiembre se reportaba una evacuación de 12,600 personas, casi el 90% de la población del municipio de Tlacotalpan (Sdnoticias.com). El 9 de septiembre se publicó en los medios un cálculo de las pérdidas económicas en 1,500 millones de pesos, y se afirmó que INAH-UNESCO evaluarían los daños (MSN Noticias). Continuo se emitió la alerta por el paso del huracán Karl la tarde del 17 de septiembre de 2010. Los damnificados se volvieron a ver afectados con este fenómeno, pero con un problema añadido: el número de personas necesitadas de ayuda incrementó considerablemente. Se reportaron 14 muertes.

A finales de septiembre, con el paso del huracán Matthew, se emitió otra alerta por inundación a la población asentada en la cuenca del Papaloapan. Este fenómeno, a pesar de que se debilitó a tormenta tropical en cuanto tocó tierra, dejó mucha lluvia en el Istmo de Tehuantepec. El nivel de los ríos era ya elevado por las lluvias torrenciales que se habían presentado, y la saturación de los campos era evidente, cuando se tomó la decisión de ordenar de nuevo la evacuación de la ciudad de Tlacotalpan, ante la necesidad de desfogar una vez más las presas para evitar una catástrofe mayor. El 29 de septiembre de 2010 se ordenó la evacuación total de Tlacotalpan. CONAGUA advirtió que esta inundación sería mayor que la anterior, e incluso se mencionó en algunos medios que el 2 de octubre el agua podría llegar a tener en la ciudad una altura de 4.5 metros (Milenio Diario). El nivel máximo que se reportó fue de 3.80 metros (Naranjo Sergio, 2010).

Planteamiento del problema

De acuerdo con lo anterior se realiza en la investigación una caracterización geomorfológica del Municipio de Tlacotalpan Veracruz; la cual se identificará a partir del estudio de la morfometría y morfografía del municipio para determinar los atributos configuracionales del relieve y en base a ellos conocer el sistema de relaciones espaciales coexistentes entre sí.

Dada la cualidad de análisis, las clasificaciones del territorio se pretenden analizar en escala grande y precisa con cierto nivel de detalle, es decir 1:10,000.

El enfoque de riesgo por inundación responde a que el sitio se inunda de forma periódica como ya se estableció; y que la mayoría de las inundaciones está relacionada con la cantidad y la distribución de la precipitación de la cuenca del Papaloapan, siendo afectada la actividad humana y a los procesos del río.

El trabajo se sustentará en las ideas de autores como de Pedraza (1996), Gutiérrez (2008) Derrau, Leopold, quienes en el área de geomorfología aportan ideas acerca de configuración de las formas del terreno: morfografía, así como estructura del relieve y procesos fluviales.

Para el caso de riesgo, se retoman autores como Espinosa y Hernández (2015), Toscana (2006 y 2009), Olcina y Ayala (2002) y Keller y Blodgett (2004), implementando aportes como son los procesos naturales y sociales en los riesgos por inundación.

Justificación

La presente investigación se orienta hacia el establecimiento de una zonificación de la susceptibilidad del medio natural, a partir del conocimiento de sus formas y procesos, los cuales implican también la identificación de las principales amenazas naturales asociadas.

El conocimiento de la morfometría y morfografía permitirá determinar las condiciones del relieve para determinar las zonas vulnerables a la inundación de las geoformas de la planicie aluvial. La importancia de la caracterización geomorfológica del municipio de Tlacotalpan Veracruz, radica en que servirá como base fundamental para proponer la implementación de medidas estructurales, con el fin de coordinar las actividades de prevención y mitigación de riesgos ante desastres.

Las medidas estructurales engloban todas aquellas construcciones que reducen o evitan el posible impacto de la inundación, incluyendo un amplio rango de obras de ingeniería civil. Su funcionalidad se encuentra limitada, ya que se diseñan para eventos asociados a una cierta probabilidad anual de excedencia

A través de las propuestas de medidas estructurales para el municipio se busca reducir el riesgo por inundación, evitando pérdidas económicas y humanas, conservando el patrimonio para un mejor desarrollo, generando una base de análisis y respuesta ante la toma de decisiones.

Servirá como insumo para posteriores análisis de amenaza por inundación realizados en otros proyectos.

Hipótesis

La evolución de la configuración del relieve, principalmente los procesos: geológicos, geomorfológicos e hidrológicos, son variables del medio físico desencadenantes del desarrollo de una inundación, y a su vez, determinan las condiciones de susceptibilidad ante el riesgo.

Objetivos

General

Determinar las zonas de riesgo por inundación en el municipio de Tlacotalpan Veracruz, a partir de un análisis geomorfológico.

Específicos

- Caracterizar y analizar el relieve del Municipio.
- Definir y evaluar la susceptibilidad en las zonas de inundación para determinar el nivel de riesgo y bienes expuestos
- Determinar la vulnerabilidad social del municipio ante inundaciones

Metodología

Metodología

En esta sección se describe principalmente la forma en la cual se elaboró el desglose de la investigación presente; se describe la función y proceso de cada una de las variables que hacen posible la caracterización geomorfológica del municipio de Tlacotalpan Veracruz, obteniendo los diversos factores de interpretación y análisis de cada una de ellas. (Cuadro 1). Asimismo se indican los fundamentos bajo los cuales se realizan los diversos mapas morfométricos con una escala detallada de 1: 10 000, donde se describen los procedimientos y criterios que fueron tomados para la elaboración de cada mapa.

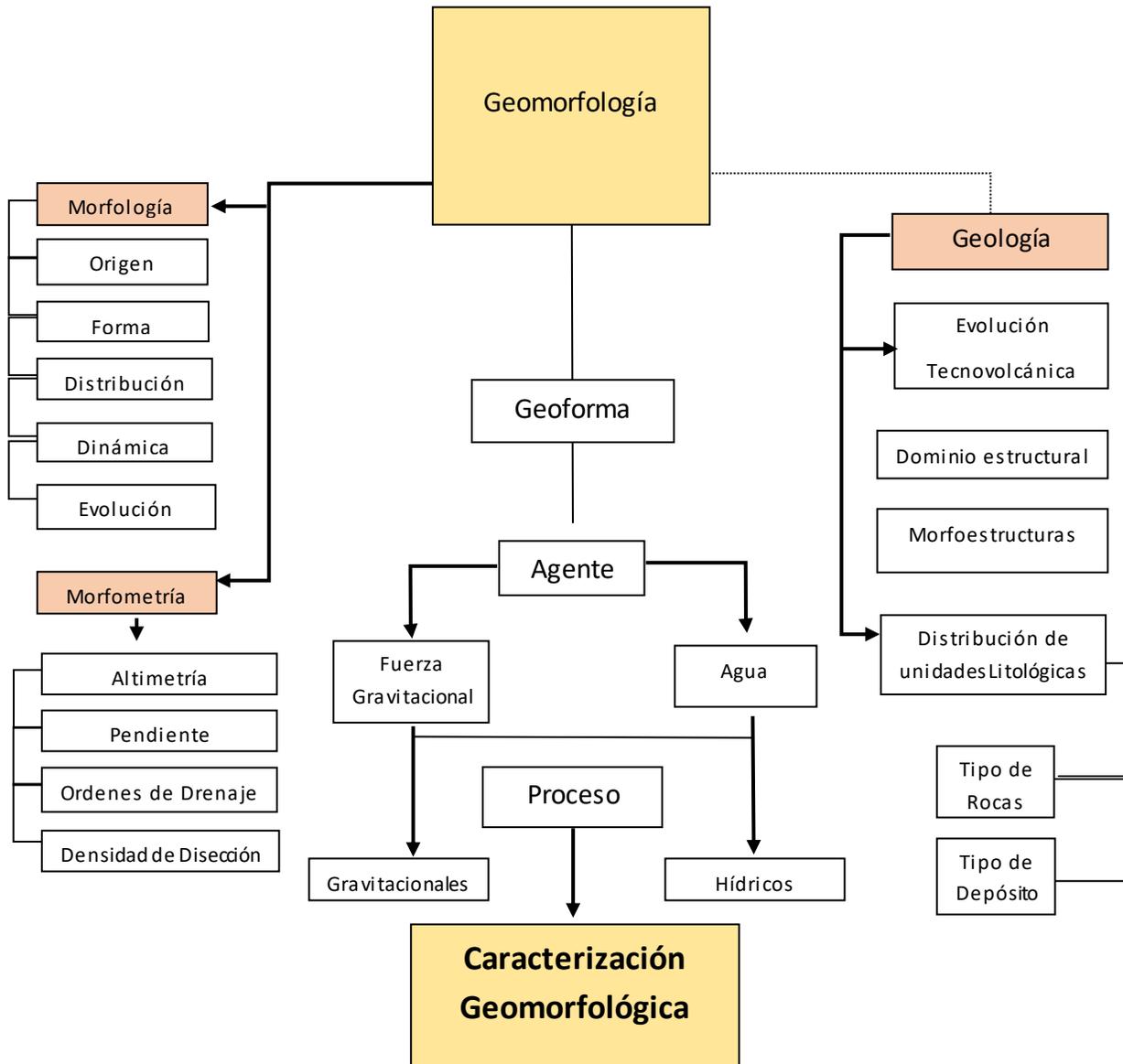
Posteriormente se describe un esquema sistémico, de las relaciones e interacciones existentes entre los diversos elementos de la caracterización geomorfológica. (Esquema 1).

Cuadro 1. Factor de análisis.

Variables Dependientes		Variables Independientes	Factor de análisis e Interpretación
Generales	Particulares		
Geología	Evolución Tectovolcánica	-Dominio Estructural _Morfoestructuras	Presencia de fallas, fracturas, movimiento diferencial de bloques, análisis de ruptura de pendientes.
	Distribución de unidades Litológicas	-Tipo de Rocas -Tipo de Depósitos	Contactos litológicos, resistencia diferencial de materiales, identificación en la asimetría de pendientes, identificación de procesos acumulativos o denudativos,
	Morfología	Forma	Clasificación de estructuras, identificación de procesos erosivos o acumulativos, identificación de patrones de drenaje, control estructural en el relieve,
		Evolución	Dominio de procesos endógenos o exógenos, resistencia diferencial de materiales,
		Dinámica	Identificación del dominio de procesos endógenos y exógenos,

Morfografía			resistencia diferencial de materiales.
		Distribución	Contactos litológicos, resistencia diferencial de materiales, movimiento diferencial de bloques, localización de rasgos disyuntivos y plicativos, división de unidades geomorfológicas, identificación de alineamientos orográficos, identificación de rasgos tectónicos.
	Morfometría	Altimetría	Escalonamiento del terreno, distribución del relieve, localización de rasgos disyuntivos y plicativos, división de unidades geomorfológicas, identificación de alineamientos orográficos, identificación de rasgos tectónicos, reconstrucción de estructuras, identificación de rasgos geométricos, clasificación de procesos conforme a la altitud.
		Pendientes	Inclinación general de la pendiente, identificación de unidades geomorfológicas con respecto a la angulación del terreno, escalonamiento del terreno, ruptura de pendientes, erosión real, identificación de procesos acumulativos o denudativos.
		Ordenes de Drenaje	Identificación de patrones de drenaje, orden cuantitativo de las corrientes, resistencia diferencial de materiales, identificación en la asimetría de valles, identificación de procesos acumulativos o denudativos, delimitación de cuencas, subcuencas así como afluentes.
Densidad de Disección		Cuantificación de procesos fluviales erosivos o acumulativos, resistencia diferencial de materiales.	

Esquema 1. Sistema de Variables



Material Cartográfico para la elaboración de la Geomorfología de Tlacotalpan Veracruz.

La cartografía del municipio fue realizada a partir de un raster obtenido de la Agencia Espacial Japonesa ASTER con una resolución de 10 m. (ASTER Global Digital Elevation Model "ASTER GDEM"), debido a la deficiente escala que se propagan en los shapes caracterizados por una resolución mínima de 1: 50 000, que para este caso no sería de gran ayuda pues es una zona plana.

Mapa altimétrico

Uno de los objetivos principales de este mapa es representar de manera clara y fácil las diferentes altitudes que caracterizan a una región, así como las variaciones del relieve. Esto permite distinguir las partes planas de las altas y escarpadas, siendo éstas últimas las zonas más susceptibles a presentar procesos de remoción en masa. Con base en el mapa altimétrico se determinó la altura mínima y máxima de la zona de estudio. Asimismo muestra las principales morfoestructuras del relieve, la morfogénesis y la dinámica exógena siguiendo los pasos que se muestran a continuación:

Obtención de las alturas máximas y mínimas en el mapa base original, que para este caso fue obtenido un ráster de elevación de la Agencia Espacial Japonesa (ASTER)

Por siguiente se definen los intervalos de representación altitudinal para una mejor visualización y análisis

Se eligieron 9 rangos con base en el sistema internacional para la secuencia de tonos, que va de los fríos a los cálidos



Por último el mapa se visualizará de acuerdo al color que determina el rango altitudinal, de tal forma que las áreas de menor rango altitudinal son marcadas con tonalidades verdes, y de negro con las alturas máximas.

Mapa de Pendientes

La finalidad de este mapa es reconocer de manera visual el valor numérico de inclinación de una pendiente entre una y otra curva de nivel, obteniendo finalmente los datos de separación angular entre la pendiente general y la horizontal. Se basó en los criterios de (Lugo 1988).

Por consiguiente permite determinar las unidades geomorfológicas presentes en la zona, el escalonamiento del terreno, la ruptura de pendientes, así como los

procesos acumulativos o denudativos. Se representa o expresa por medio de grados siguiendo estos pasos:

Obtener la constante de la variable de la escala vertical del mapa base por medio de la siguiente fórmula:

$CEV =$ Constante de la variable en la escala vertical

$EQ =$ Equidistancia entre las curvas de nivel maestras

$DH =$ Escala horizontal de representación

Se determina el número de rangos y el ángulo de inclinación de la pendiente, dependiendo del objetivo al cual se pretende llegar. En este caso el municipio presento en la mayor porción del municipio una zona plana pero de angulación de pendiente considerable.

Color						
° Grados	0 – 3°	3 – 6°	6 – 12°	12 – 20°	20 – 30°	< 30°

Por ultimo para generar una tabla que nos ayude a establecer de forma manual la clasificación de la pendiente sobre el mapa base, una vez que los rangos han sido obtenidos, a cada uno de ellos se le aplica la siguiente formula:

$m =$ Distancia grafica del rango a representar

$CEV =$ Constante de la variable en la escala vertical (obtenida previamente)

$Tang\ ang =$ Tangente del ángulo perteneciente al rango a representar.

Obtenidos los datos con anterioridad, se procede con el diseño de una tabla de color, en la cual se transfieren los valores y se colorean dependiendo su área respectiva. Se asocian los rangos a los colores, partiendo de los fríos hacia los cálidos, de tal manera que las áreas de menor porcentaje o grado de pendiente se asocian a tonalidades verdes, y las de mayor pendiente se relacionan con color negro.



Ejemplo de Tabla de escala de color para la escala 1: 10 000

Mapa Órdenes de Drenaje

El orden de un cauce en una cuenca hidrográfica está estrechamente relacionado con su tamaño. Las cuencas de mayor tamaño tendrán órdenes mayores. El producto obtenido de esta carta, consistió en la clasificación de las corrientes fluviales en ordenes numéricos fundamentado por la ley de Horton (Straller, 1982). Los pasos para la elaboración del siguiente mapa fueron los siguientes:

El orden de la red de drenaje se realizó a través de la plataforma SIG ArcGis ya que los shape existentes no cumplían con la escala requerida.

Primeramente clic en la caja de ArcToolbox seguido de Spatial Analyst Tools y finalmente Map Algebra.

En la ventana que aparece, escribimos la siguiente expresión $\text{Log}_{10}(\text{"C_Flow_acc"})$. Al archivo resultante (Red_log) le aplicamos la siguiente condicional $\text{Con}(\text{"Red_log"} \geq 2, \text{"Red_log"})$. El resultado se muestra a continuación. Ahora aplicamos la herramienta Stream Link, que divide el cauce en segmentos no interrumpidos. Para ello vamos a Hydrology, luego en Stream Link, en la ventana que aparece indicamos la red hídrica (Redh_con), la dirección de flujo (C-flow_dir) y el archivo de salida (Red_sem).

Al archivo generado le aplicamos la herramienta Stream Order que crea un raster del orden de las corrientes. Para ello vamos a Hydrology, luego en Stream Order. En la ventana que aparece debemos indicar la red de flujo segmentada (Red_seg), el raster de dirección de flujo y para estimar el orden de las corrientes elegimos como método STRAHLER.

Finalmente convertimos el raster obtenido a un archivo SHP utilizando la herramienta Stream Feature. Vamos a Hydrology, luego en Stream Feature, en la ventana que aparece indicamos el raster que contiene el orden de la red de flujo (Red_orden), el raster de dirección de flujo (C_flow_dir) y salvamos el resultado como Red hídrica.

Obteniendo el producto final a través de la plataforma, se identificaron las corrientes en el orden de acuerdo al algebra que se le aplico. Finalmente se definieron las

tonalidades en base al sistema internacional aplicado por Horton para la secuencia de los tonos determinado para afluentes.

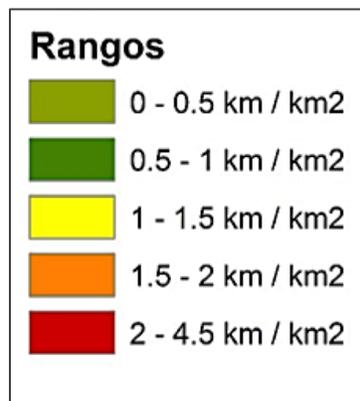
No. Orden	Color
1	
2	
3	
4	
5	
6	

Tonalidades para el orden de drenaje.

Mapa de Densidad de Disección

A través de este mapa podemos visualizar, la cantidad y medida lineal de corrientes (perennes e intermitentes), por unidad de superficie en un territorio, para identificar procesos exógenos y endógenos, la antigüedad y dinámica de las geoformas, así como la estructura definida por fracturas y fallas.

Este mapa se realizó de igual manera a través de la Plataforma ArcGis, en base a los criterios de Palacio (1983), representando la erosión del terreno en cuanto a la longitud de talwegs por km^2 , determinados por los siguientes rangos:



Rangos obtenidos para la Densidad de Disección.

Se divide la zona de estudio en unidades cuadradas de superficie, para este caso se realizó cada kilómetro cuadrado.

Se utiliza como base las corrientes inferidas y marcadas de los causas del mapa de órdenes de drenaje, midiendo la longitud de todos los valles fluviales localizados dentro de cada Km². En este caso el procedimiento se realizó digitalmente, aunque se puede utilizar un curvómetro.

El valor resultante se escribe en el centro de cada uno de los cuadros.

Finalmente los valores se clasifican en rangos, y se le asigna un color. Concluyendo que el rango del mismo color comparten una misma similitud entre la densidad de corrientes.

Metodología para la Evaluación de Riesgos por Inundación.

Partiendo del conocimiento de las formas y de los procesos que en la zona se identifican, se procede con un esquema general de ejecución para la identificación de zonas susceptibles a inundación, se ha seguido la metodología siguiente: información histórica de episodios de inundación, recopilada a través de las diferentes tesis de la zona, así como datos de hemerotecas. Esta metodología está basada principalmente en aspectos geomorfológicos, las cuales permitirán identificar las zonas susceptibles a inundación.

Esquema 2. Metodología para evaluar el riesgo por inundación.



Finalmente se realiza un análisis del riesgo por inundación a través del análisis multifactorial, multinivel y multitemporal a través de la Ecuación General del Riesgo (EGR); y la forma en la que se obtuvieron los datos para poder concluir la investigación.

Recopilación de datos

Para la recolección de información, se aplicaran encuestas principalmente a los residentes de las zonas expuestas a inundaciones. Esta investigación se basa en Grawitz (1975), el cual se centra en función de los objetivos que este estudio pretende conseguir como técnica de recopilación se utilizó la técnica viva (comprende dos grandes medios de investigación: la interrogación y la observación), pues se desarrolla una encuesta destinada a los residentes expuestos y una entrevista aplicada a los alcaldes y técnicos de medio ambiente del municipio de Tlacotalpan Veracruz. La entrevista realizada para los alcaldes o la organización de Protección Civil del municipio, se basa en la metodología generada por Norlang García Arróliga, Rafael Marín Cambranis y Karla Méndez Estrada del Centro Nacional de Prevención de Desastres denominada Estimación de la Vulnerabilidad Social incluida en la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. La estructura para las siguientes encuestas es la siguiente:



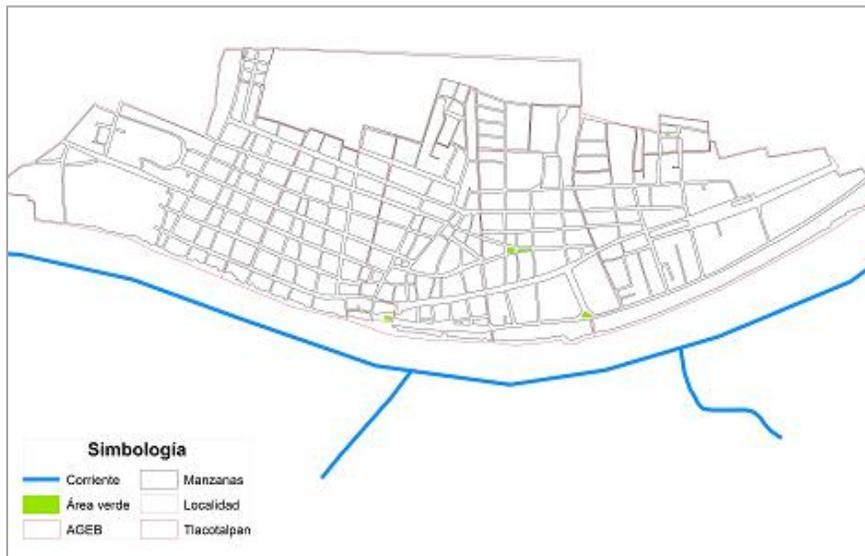
Esquema 3. Variables y objetivo de las encuestas

La finalidad de las encuestas o cuestionarios se centra de manera sistemática y ordenada en obtener información sobre las variables de la investigación. La encuesta utilizada en este estudio es de carácter cerrado y anónimo.

Para la obtención de datos de la EGR propuesta por Espinosa y Hernández 2012, se realizó una encuesta para poder concretarla (Formato de encuesta en anexos). En la encuesta se incluyeron factores sociales, territoriales, económicos y políticos, que abarcan cinco funciones específicas que son representadas a través de la Ecuación General del Riesgo propuesta:

EGR	=	Función del	+	Función de	+	Función	+	Función	+	Función
		geosistema		la		del		sistémica		de la
		perturbador		componente		Territorio				gestión
				humana						territorial

Para concretar, en las encuestas se fue realizando una recopilación, que de acuerdo en base a experiencias basadas en los pobladores del municipio, se les pregunto de acuerdo a su localización de vivienda ¿Cuál ha sido el punto crítico de altura de la lámina de inundación que mayor recuerden? y se fue llenando por manzana obtenido de las AGEB (Área Geoestadística Básica) la altura crítica. La cartografía fue obtenida por INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática).



Mapa Base para trabajo de campo.

Antecedentes

El desarrollo y aplicación de nuevas investigaciones a lo largo de la última década, ha dado un impulso notable en la reducción de desastres por fenómenos perturbadores como son los hidrometeorológicos, los cuales a su vez se clasifican en: huracanes, heladas, sequías, ondas cálidas y gélidas, inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres, así como tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad (Tornero, 2006).

Estudios realizados en el contexto internacional sobre inundaciones muestran un amplio panorama sobre múltiples posibilidades y respuestas producto de la geomorfología de la zona, para detección de las mismas y/o modelación.

Un estudio realizado en el municipio de Valencia en España, presenta un análisis denominado: “El contexto geomorfológico en las inundaciones de la ribera del Júcar”, muestra la principal problemática que hace relevancia a la recurrencia de las crecidas que generan un alto impacto social, empleando una metodología de análisis de la geometría del llano de inundación y formas aluviales para determinar los procesos, obteniendo como resultado que esta es una unidad dinámicamente hidrogeomorfológica, cuyas pautas sedimentarias seculares no son independientes de los flujos de desbordamiento. Los procesos de acreción y construcción de las formas aluviales holocenas e históricas del llano de inundación proporcionan información hidrogeomorfológica (Matéu, 2000).

Por otro lado un estudio realizado en Colombia muestra un análisis denominado “Geomorfología y Susceptibilidad a la inundación del Valle Fluvial del Magdalena Sector Barrancabermeja – Bocas de Ceniza”, este trabajo plantea la necesidad de caracterizar y analizar la geomorfología y la dinámica fluvial del Valle del río Magdalena en el Sector Barrancabermeja, así como establecer la susceptibilidad a los procesos de inundación y desborde en este tramo del río. Utilizo como base la cartografía elaborada en el proyecto CIAF 81983 escala 1:100 000 así como implementación de imágenes Landsat TM y ETM del año 2000, imágenes radar, imágenes aéreas y la base cartográfica de morfodinámica elaborada por IDEAM-

Universidad Nacional (1997-1998). Las imágenes tipo LANDSAT y RADAR fueron utilizadas para la realización de la caracterización y zonificación de las geoformas del valle inundable del Magdalena. Como resultado se obtuvo la evaluación de la susceptibilidad, la cual permitió identificar y zonificar un área aproximada de 16.000 Km² que presenta procesos de inundación con variable grado de intensidad. Del total del área con algún grado de susceptibilidad a las inundaciones, el 63% aproximadamente es propenso a sufrir procesos severos de anegamiento por el río (IDEAM, 2001).

Por otro lado, en México la Geomorfología ha adquirido importancia y relevancia de manera progresiva, como lo es el estudio de Romo (2001): “Riesgo de inundación en la llanura fluvial del curso bajo del río San Pedro, Nayarit”, La función de este trabajo es determinar el riesgo de inundación en una porción de la llanura costera nayarita, así como representar el peligro potencial para los asentamientos humanos en la llanura fluvial del río San Pedro, Nayarit y su creciente actividad agrícola. Utiliza como base de este estudio a la geomorfología aplicada con un enfoque ambiental, Parte del levantamiento y análisis geomorfológico. Posteriormente, empleando la estadística, se correlaciona con un análisis multitemporal del escurrimiento en un periodo de 50 años. Esto permitió determinar las áreas susceptibles a inundaciones, su grado de susceptibilidad y los periodos de retorno, obteniendo como resultado de la investigación que el 92% del área en estudio presenta algún grado de susceptibilidad del terreno a inundaciones y que las poblaciones más importantes y sus actividades económicas se desarrollan en la zona de alta susceptibilidad

En cuanto a la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica orientado a la detección de zonas vulnerables se presentó el proyecto denominado: “Zonificación de amenaza por inundaciones en la parte baja de la Subcuenca del Zanjón Pacayá, Retalhuleu, Guatemala” planteado por (Luna, 2013), quien plantea la problemática de las localidades Los encuentros y el Pomal localizados en la parte baja de la cuenca son afectados por las inundaciones que se producen en la parte alta y media de la Subcuenca. La zona presenta baja pendiente haciendo muy lento el tránsito

de la corriente hacia la desembocadura del río. La determinación de las zonas de amenaza de inundación se realizó por medio de un mapa geomorfológico de la zona utilizando el Sistema de Información Geográfica. Para la modelación de cauces se utilizó la metodología de estimación de caudales de referencia mediante el hidrograma unitario obteniendo como resultado Información básica para la generación de Planificación Territorial de la Subcuenca del Zanjón Pacayá.

Antecedentes de la zona de estudio

Las inundaciones en Tlacotalpan Veracruz han sido relevantes. En 1944 se presentó la más veloz de todas las que se tienen registradas. El agua alcanzó un nivel muy alto a una velocidad muy rápida, y tardó ocho días en volver a su cauce. Después, en septiembre de 1969, se presentó otra inundación incluso más severa que la de 1944. En esta ocasión el agua superó los dos metros de altura y duró cuarenta días dentro de la Ciudad (Lozano y Nathal, 1991).

A partir de entonces, se puso en marcha la Comisión Ejecutiva del Papaloapan (CODELPA), que existió de 1946 a 1984, finalmente abrogada en 1986. El proyecto consistía en la creación de un plan integral que incluyera "las más amplias facultades para la planeación, proyecto y construcción de todas las obras de defensa de los ríos, las de aprovechamiento en riego, desarrollo de energía y de ingeniería sanitaria, las de vías de comunicación comprendiendo vías de navegación, puertos, carreteras, ferrocarriles, telégrafos, y las relativas de creación y ampliación de poblados, y tendrá también facultades para dictar todas las medidas y disposiciones en materia industrial, agrícola y de colonización, en cuanto todo lo anterior se refiera al desarrollo integral de la cuenca del Papaloapan" (SARH, 1977, Art. 3). Abarcaba 46 mil kilómetros cuadrados comprendidos dentro de los estados de Veracruz, Oaxaca y Puebla.

El proyecto Papaloapan se centraba en la construcción de la presa Miguel Alemán en Temazcal, en la sierra Mazateca, sobre el río Tonto en el Estado de Oaxaca. La presa tenía doble propósito, la generación de energía y el control del caudal del río. Su construcción se dividió en tres etapas, comenzando en 1949 y terminando en

1961, cuando la presa alcanzó su nivel máximo (Meneses, 2004). De acuerdo con CONAGUA, la presa tiene una capacidad total de 9.105,540 m³.

Los trabajos realizados en la zona de Tlacotalpan, parten del estudio de la cuenca del Papaloapan, pues son procesos constructivos que dan origen a las inundaciones.

Uno de los principales estudios en el municipio es “Atlas climatológico e hidrológico de la cuenca del Papaloapan”, el cual realiza un análisis de los parámetros hidrológicos, climatológicos y meteorológicos para inundaciones en la cuenca del Papaloapan, utilizan como metodología la correlación entre las variables hidrológicas, climatológicas y meteorológicas, los cuales generan los primeros mapas sobre temperatura, precipitación, climas, distribución espacial y temporal de los vientos dominantes, evapotranspiración, insolación, humedad, con promedios mensuales y anuales, agregando la descripción de las condiciones meteorológicas en que se presentaron las grandes inundaciones del periodo comprendido entre 1944 y 1970.” (SRH, 1975).

Entonces se desarrolla el proyecto “Aplicación de un modelo de flujo en la llanura de inundación del Rio Papaloapan para el análisis de proyectos de obras de protección para el control de inundaciones”, por (Pelcastré, 1995), donde se plantean la construcción de obras de ingeniería, para disminuir el problema de las inundaciones con un modelo hidráulico-matemático para poyar la planeación de la construcción de obras de ingeniería, finalmente presentan opciones de obras para dar una mayor salida a los flujos de agua, tanto de la cuenca alta a través de la construcción de presas en las corrientes de la margen derecha del Papaloapan, como de bordos de protección sobre estos mismos ríos en su trayectoria por la llanura, además de la implementación de canales de alivio que impidan la llegada de los afluentes al Papaloapan y desborden sus aguas directamente al mar.

A partir de las obras de ingeniería empleada antes mencionadas se realiza un “Diagnóstico sobre la seguridad integral de la cuenca del Rio Papaloapan” por (Zepeda & González 1997), este trabajo realiza un análisis de las condiciones de infraestructura en la cuenca del Papaloapan, tomando aspectos hidrológicos e información técnica sobre las condiciones de las obras de ingeniería tales como

presas, bordos de protección, alcantarillas. Analiza cómo ha funcionado el control de las avenidas en las presas en condiciones normales y durante avenidas extraordinarias obteniendo estimaciones sobre las áreas afectadas y el número de población afectada a nivel municipal, indica que en los últimos 8 años los ríos que confluyen en la llanura baja del Papaloapan presentan abundantes azolves consecuencia del control que ejercen las presas, las cuales al evitar las grandes avenidas, facilitan la depositación de sedimentos al disminuir la capacidad de carga de la corriente. Proponen medidas de tipo ingenieril para la mitigación de las inundaciones retomando estudios de la IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua), y propone proyectos de estudio para el buen funcionamiento de las presas, bordos de protección, alcantarillas, además de rehabilitación de estos dos últimos.

De igual manera, pero con enfoque diferente como es el social plantean abordar la "Vulnerabilidad a Inundaciones en el curso bajo del Río Papaloapan, Veracruz.", abordado por (Pérez 2001). En este trabajo plantea como problemática los procesos de inundación en la llanura baja del Papaloapan, que han afectado las actividades económicas siendo principalmente afectada la agricultura pues su desarrollo se encuentra alterado con el desarrollo de pastos para la producción ganadera. Se consideran los elementos naturales y antrópicos que participan, y los aspectos socioeconómicos afectados por dicho proceso. Utiliza como base la aplicación de SIG para representar y analizar la información espacial y la no espacial. Se consideraron principalmente los factores hidrometeorológicos por contener los elementos directos generadores de las inundaciones. Posteriormente se realizó un análisis de los cambios de la cubierta vegetal con las características de la pendiente, así como unidades Naturales, y análisis de Densidad de Drenaje. Presenta como resultado que Las inundaciones del curso bajo del Papaloapan toman representación espacial debido a las características geomorfológicas, edafológicas y de densidad del drenaje, pero dichos fenómenos son producto de la presencia de perturbaciones atmosféricas, las cuales llevan a cabo abundantes precipitaciones y altos gastos hidrométricos.

Ante los proyectos antes planteados y sin la factibilidad de haber resuelto el problema en su totalidad plantean “Estrategias adaptativas frente a inundaciones en Tlacotalpan y Cosamaloapan, Veracruz”, desarrollado por (Angulo, 2001). Plantea una breve descripción del Río Papaloapan y su cuenca, así como de los municipios que se encuentran en la trayectoria del río; ya que éste representa una importante área susceptible a inundaciones así como una zona sumamente pobre y vulnerable ante fenómenos climáticos. Realizan una recopilación de información de tipo cuantitativa y cualitativa; cada una de ellas con sus propios alcances y limitaciones. Finalmente obtienen una descripción general de las medidas de adaptación y percepción de la población frente a inundación de los municipios de Cosamaloapan y Tlacotalpan.

Finalmente se desarrolla el “Atlas Municipal de Riesgo Nivel Básico”, este trabajo lo realiza protección civil de Veracruz, su objetivo es realizar un diagnóstico de Riesgos así como conocer las características que pueden devenir en desastres para poder determinar la forma en que inciden estos eventos en los asentamientos humanos para mitigarlos. Identifica las condiciones físicas para determinar el peligro, el grado de exposición y la vulnerabilidad, obteniendo como resultado el Atlas de riesgo nivel municipal Tlacotalpan, Veracruz (Protección Civil, 2012).

Capítulo I

Marco Teórico

Marco Teórico

El llano de inundación del municipio de Tlacotalpan Veracruz permite interrelacionar la dinámica geomorfológica de los diferentes ambientes fluviales de la llanura con las pautas hidrológicas de los flujos desbordados durante las crecidas. Para ello se pretende caracterizar la zona en términos geomorfológicos a partir del estudio de la morfometría y morfografía del municipio para determinar los atributos configuracionales del relieve y en base a ellos conocer el sistema de relaciones espaciales coexistentes entre sí.

Dicha caracterización permite valorar procesos fluviales y dinámicos que se han ido moldeando a través de los años durante las surgidas inundaciones.

En este capítulo se realiza una interpretación del marco conceptual con el objetivo de explicar los procesos geomorfológicos, fluviales e hidrológicos identificados dentro del área de estudio para tener un mejor entendimiento de los términos empleados para mitigar y reducir los riesgos por inundación, conociendo y analizando las medidas estructurales y no estructurales que pueden ser empleadas para cumplir el objetivo.

Antecedentes de la Geomorfología

En el siglo XIX, Jaime Hutton “Padre de la geomorfología moderna” (1726-1797), escribió “Teoría de la tierra o una investigación de las leyes observables en la composición, disolución y restauración del terreno sobre el globo”, que los estudios geomórficos fueron más significativos, especialmente con el reconocimiento de la evidencia de una edad glacial que cubrió la mayor parte de Europa septentrional, fundamentado por Luis Agassiz (Moreno, 1992).

En Estados Unidos, se considera el periodo comprendido entre 1875 y 1900 como “la edad heroica en la geomorfología estadounidense” debido al gran auge que tuvo el desarrollo de la mayoría de los conceptos geológicos (Moreno, 1992).

A finales del siglo XIX, aparecen los primeros escritos considerados geomorfológicos. Los franceses con su obra *Le Formes du Terrain*, de La Noe y

Margerie, publicado en 1888; y la *Morphologic der Eerdoberfläche*, escrita por el austro-alemán Albrecht Penck, publicado en 1894.

Muchos autores atribuyen el nacimiento de la Geomorfología por el norteamericano William Morris Davis considerado “el gran definidor analista” (Moreno, 1992), quien, a pesar de ser objeto de crítica, ideó el primer método de análisis estrictamente geomorfológico. Plantea que “toda la variedad de formas del terreno están reguladas por –o, como dirían los matemáticos, son función de tres variables, que pueden ser denominadas estructura, proceso y tiempo” (Morris 1973). Destacando la magnitud de esta obra, la Geomorfología no habría alcanzado su estado actual sin otra aportación fundamental (De Pedraza 1996).

La metodología de Davis resulta válida para un análisis y una clasificación del relieve, denominando a la ecuación de la Geomorfología como: toda forma del terreno (F), es función (f) del proceso (P) y los materiales (M) a través del tiempo (dt) ó $F=f(P,M)dt$. Partiendo de esa ecuación deben investigarse las implicaciones según los factores del relieve, sean dinámicos o no.

La definición más sencilla de geomorfología para (Lugo 1988), es: la ciencia (o disciplina) que estudia el relieve terrestre, que es el conjunto de deformaciones de la superficie terrestre, clasificando en las siguientes ramas:

Geomorfología General. Comprende los principios teóricos y métodos fundamentales para el estudio del relieve.

Geomorfología Planetaria. Originalmente se aplicó este término al estudio de las formas mayores de la tierra, continentes y océanos, y actualmente se extiende a la superficie de los planetas del sistema solar.

Geomorfología Regional. Se ocupa de la regionalización de relieve y del estudio de grandes territorios, con el fin principal de reconstruir las etapas de su desarrollo. Se apoya de la peleogeomorfología.

Geomorfología Aplicada. Se trata de las aplicaciones a problemas prácticos por métodos geomorfológicos.

Según (De Pedraza y Centeno, 1997), la Geomorfología tiene por objeto de estudio la capa más externa de la geoesfera, aquella, debe entenderse como un medio o subsistema que interacciona con los restantes presentes en la tierra: lo biótico, líquido, gaseoso y antrópico, constituyen agentes que toman parte en la morfogénesis; y como objetivo deducir las configuraciones presentes en su superficie a lo largo del tiempo, usando un método histórico-natural, donde establecen un sistema de relaciones o interrelaciones geométricas, genéticas y evolutivas, que conforman los diferentes grupos de formas que articulan el relieve.

La geometría de la superficie terrestre constituye la referencia inicial para el análisis geomorfológico, debe explicarse según datos funcionales o genéticos, considerándose la síntesis o simplificación de otras que fueron sucediendo a lo largo de la historia geológica del planeta; así pues, el objetivo fundamental en geomorfología es deducir los antecedentes de la superficie y, en su caso, predecir posibles configuraciones futuras.

Configuraciones del relieve

Dentro de las configuraciones del terreno se presenta la Morfografía. De Pedraza (1996), la define como un conjunto de técnicas, procedimientos y métodos utilizados para determinar atributos configuracionales del relieve y en base a ellos conocer el sistema de relaciones espaciales que caracterizan a las formas del terreno, así como todo el conjunto de procedimientos matemáticos que sirven para su catalogación.

Los atributos configuracionales refieren a parámetros tales como: límites, medida, fisonomía, posición y distribución de los componentes del relieve sobre la superficie terrestre, con fundamento topológico (geométrico o matemático) y fisiográfico (fisonómico o geográfico) (De Pedraza, 1996).

Actualmente muchos autores entienden a la morfografía como un conjunto de técnicas auxiliares, normalmente aplicadas al analizar cada proceso (fluvial, glacial, vertientes, etc.)

Pedraza considera que aun cuando sean posibles otros enfoques, la morfografía tendrá que ser dividida en dos partes: morfometría y fisiografía.

Morfometría

Con el objeto de establecer correspondencias entre la geometría del terreno y los procesos que la originan, en 1930 surge la Geomorfología Cuantitativa, mejor llamada Morfometría.

De esta manera, la morfometría se ocupa de los parámetros espaciales con categoría geométrica, es decir, tipología y dimensiones en las formas del terreno, así como todo el conjunto de procedimientos matemáticos que sirven para su catalogación.

De acuerdo con la opinión de varios autores el principal problema está en los enfoques que aporta el análisis geométrico frente al genético; es decir lo configuracional y lo dinámico. Lo configuracional es prioritario en Geomorfología, pues constituye un “sistema morfológico” (Chorley, 1962; Chorley y Kennedy 1971) o un “sistema geométrico” (De Pedraza, 1978, 1982).

Dentro de la Morfografía aplicada o sectorial se encuentran los parámetros morfográficos denominados leyes desarrollados por Hart en 1986. En la tabla 1 se muestran los parámetros de una cuenca de drenaje y las propiedades morfograficas de una playa.

a. Propiedades morfométricas de una cuenca de drenaje	b. Algunas propiedades morfométricas de las playas
perímetro (p) área (a) altitud máxima ((H_{max}) altitud mínima (z) Desnivel ($H_{max} - z=r$) Desnivel relativo ($100 r/p$ 5280=R) Circularidad (C) longitud total de canales de orden u (l_u) longitud total de todos los canales ($\sum l_u$) densidad de drenaje ($\sum l_u/a = D$) número de canales de orden u (n_u) número total de canales ($\sum n_u$) frecuencia de drenaje ($\sum l_u/a = F$) numero de rugosidad ($Dr/5280 = H$)	ángulo máximo de pendiente (θ) altura de perfil (Ht) longitud del perfil (Lg) ángulo medio de pendiente ($Ht/Lg = \text{sen } \alpha$) longitud de la sección de máximo ángulo (L_{sm}) porción de la longitud total del perfil ocupada por la sección de máximo ángulo ($L_{sm}100/Lg = SM_L$) altura/longitud integral promedio D_{84} D_{50} D_{10} en el tamaño de grano para la sección con máximo ángulo

relación de bifurcación ($n_u/n_{u+1} = Rb$) Integral hipsométrica ($I \int_0^{100} da/dr$)	porosidad media o relación de vacíos del material en la sección del mínimo ángulo (V_R) Penetrabilidad media del material en la sección de máximo ángulo (P)
--	---

Tabla 1. Parámetros Morfométricos de una cuenca (en Hart, 1986)

El análisis morfométrico está basado en una unidad de referencia la cual es la pendiente del terreno. Según el diccionario geomorfológico de (Lugo 1989), la pendiente es toda superficie de terreno inclinada con respecto al plano horizontal. Se caracteriza por el valor de su gradiente y por la forma, que puede ser plana, cóncava o convexa, una cara libre, una pendiente detrítica y una pendiente cóncava, deben establecerse baremos de medida ya sean cuantitativos (grados o porcentajes) o cualitativos (expresión literal).

Los baremos cuantitativos son los más usuales y refieren a grados (entre 0° y 90°) del ángulo de inclinación o porcentaje (100% representa un ángulo de 45°), es decir, relación porcentual entre elevación (altura) y desplazamiento en la horizontal (distancia proyectada).

En el cuadro 2 se muestra la clasificación de Baremo de las pendientes propuesta por E. Scholz (1972), así mismo relaciona las formas, procesos y actividades que se presentan en Europa Centra

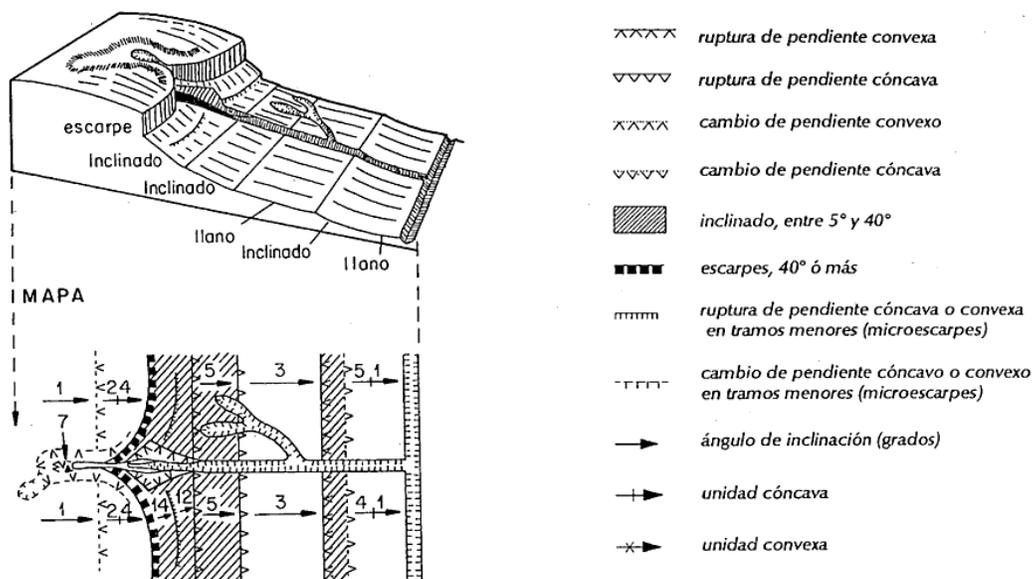
Pendiente	Morfología más común	Procesos Básicos	Observaciones
0° - 30° Plano	Llanura aluvial, llanura proglaciar, superficies de erosión y terrazas	Ausencia total de lavado y deslizamientos	Adecuado para cultivos, urbanización. Infraestructura viaria, etc.
0° 30° - 2° Casi plano	Similar al anterior, <i>sandur</i> , planicies onduladas, <i>pendiments</i> y relieves tabulares	Congeliflujión, regueros poco incisivos y soliflujión incipiente	Idem anterior
2° - 5° Débilmente inclinado	Ondulado en zonas de <i>tills</i> (morrenas) basales, <i>drumlis</i> , fondos de valle y relieves tabulares	Movimiento en masa, soliflujión, procesos fluviales, inicio de erosión en reguero y lavado	Riesgo de erosión del suelo en zonas de cultivo. Posible el cultivo mecanizado. Aceptable para asentamientos urbanos
5° - 15° Muy inclinado	Valles en montañas medias, morrenas terminales y relieves estructurales monoclinales tipo cuesta.	Movimientos en masa, erosión en manto y reguero, fenómenos de creep e inicio de deslizamientos	Transporte difícil con vehículo, poco apto para infraestructuras. Difícil el cultivo mecanizado e imposible en zonas con pendiente >7°
15° - 25° Débilmente escarpado	Laderas en montañas medias, escarpes de falta, terrazas, etc. Relieves estructurales monoclinales tipo cuesta.	Erosión lineal muy incisiva. Peligro de destrucción del suelo; conos de deyección, deslizamientos y caídas.	25° es el límite de Congeliflujión, terreno adecuado para bosque y pastoreo. No apto para infraestructuras.
25° - 35° escarpado	Relieves estructurales tipo <i>hogbacks</i> , crestas y acantilados costeros en areniscas, calizas o similares	Erosión lineal muy incisiva, riesgo extremo de erosión del suelo, deslizamientos, caídas, avalanchas, etc.	Límite de vehículos especiales, no utilizable en agricultura o construcción. Adecuado para bosques.
35° - 55° precipitado	Escarpes en gargantas, crestas y acantilados en areniscas, calizas, o similares.	Caídas en masa, deslizamientos y colapsos	Terreno límite para uso forestal y paso caminando
> 55° Vertical	Cornisas y acantilados en calizas, areniscas o similares.	Caídas, colapsos, deslizamientos y desagregación granular.	De difícil utilización. Terreno muy escarpado.

Cuadro 2. Baremo de pendientes, (E. Scholz, en Demeck ,1972)

La realización de los mapas morfométricos resulta ser sencillo una vez analizados los perfiles, pues basta con representar los contrastes geométricos identificados en los mismos siguiendo un procedimiento manual o automático.

En la cartografía geomorfológica y mucho menos en la morfométrica existe una metodología normalizada para la leyenda y su correspondiente simbología. De esta manera Savigear (1965), crea un método pionero para la simbología de la cartografía morfométrica, el cual es una de las más utilizadas (Véase ilustración 1).

Ilustración 1. Simbología utilizada en la cartografía morfométrica (Savigear, 1965)



1.2.2 Fisiografía o estructura del relieve

Las relaciones e interacciones de los componentes de la superficie terrestre tienen un carácter espacial con entidad geográfica según lo menciona De Pedraza (1996), siendo el análisis geomorfológico el auxiliar para obtener datos acerca de: donde se sitúan, como se distribuyen y que otros elementos se asocian con las formas del terreno. Este campo lo aborda la fisiografía, determina atributos configuracionales que permitan situar dichas formas en el contexto regional al que pertenecen. Desde la perspectiva fisiográfica, los rasgos morfológicos son un componente más de la superficie terrestre y contribuyen a definir sus paisajes con gran variedad de fisionomías; por tanto, el objetivo fisiográfico es: analizar, describir y cualificar el

sistema de relaciones que ligan a las formas del terreno con los restantes elementos que configuran la superficie terrestre (De Pedraza 1996).

El método fisiográfico permite describir los paisajes, englobando la clasificación de grandes conjuntos territoriales en base a los componentes del medio natural.

De Pedraza (1996), refiere que se debe acudir a este método ya sea en términos geomorfológicos o de otra índole para: “identificar, situar, describir y, en suma, organizar el territorio según porciones naturales o casi naturales (llámense regiones, unidades, paisajes, conjuntos, etc.), que presenten fisonomías características y bien diferenciadas respecto a las de su entorno”.

Uno de los principales fundamentos del análisis geomorfológico son las correlaciones espaciales clasificando el territorio; obteniendo del método geomorfológico el compartimento del relieve, con rasgos distintivos fisionómicos o fisiográficos.

Los primeros métodos para la clasificación geográfica se deben a Powell (1986), Salisbury (1907) y Fenneman (1916 ref. 1928), pues realizaron la regionalización de los Estados Unidos de Norteamérica, así como el alemán Passarge (1919-1921) al definir *landschaft* o paisaje natural. En la clasificación del relieve existen dos tendencias. La primera se refiere como configuracional o geográfica y la segunda como genética. (Véase esquema 2)

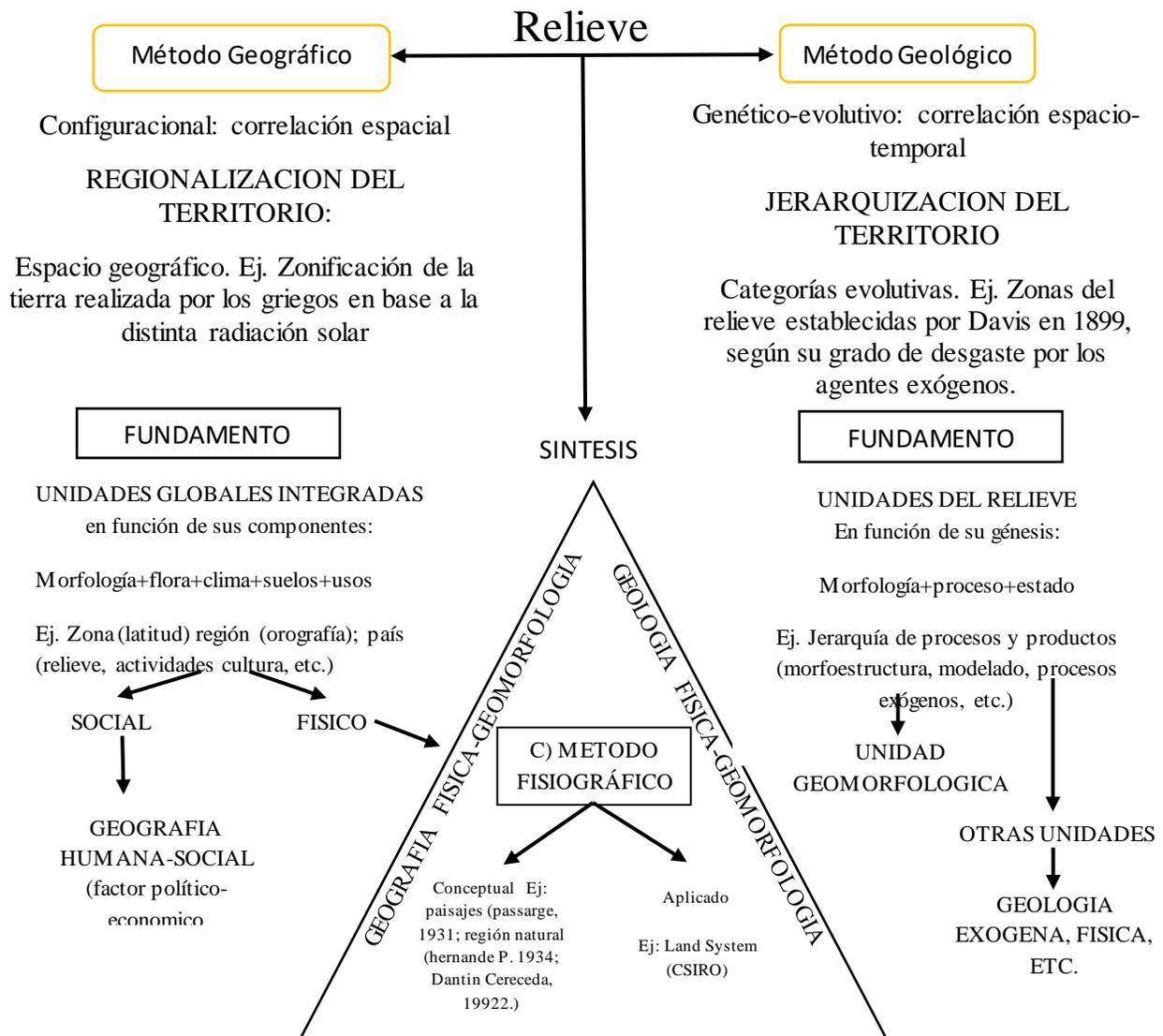
Clasificaciones configuracionales. Tiene su fundamento en las regionalizaciones y defienden una tendencia geográfico-naturalista o físico-geográfica. Su referencia primaria está en las fisonomías del relieve y delimitan porciones del territorio en base a sus múltiples componentes: roca, suelo, morfología, flora etc.

Clasificaciones genéticas. Se fundamentan en métodos histórico-naturales con el objeto de llegar a definir unidades geomorfológicas. Un agente (rio, glacial, gravedad, etc.), su ambiente o medio (ladera, litoral, desierto, etc.) o sus productos (terrazas, valles aluviones, morrenas, campos de dunas, etc.), son los criterios para delimitar la unidad.

Este tipo de clasificaciones son la base para la cartografía morfogenética y geomorfológica, pues en la primera se realizan mapas de procesos actuales y formaciones superficiales. Y con la segunda suelen representarse unidades y elementos geomorfológicos

Las clasificaciones configuracionales o genéticas, implican relaciones espaciales, genéticas y evolutivas, deben apoyarse en ambas metodologías para llegar a establecer porciones territoriales globalizadas. Así pues uno de los objetivos básicos de la fisiografía es contribuir a las regionalizaciones o clasificaciones del territorio (De Pedraza, 1996).

Esquema 4. Clasificación del relieve (De Pedraza, 1996).



1.3 Geomorfología Fluvial

El estudio de la ecología fluvial ha promovido una actitud de cuidado para con los ríos, partiendo por su funcionamiento geomórfico. En este contexto la geomorfología se ha hecho necesaria para informar las decisiones del manejo de cuencas, los proyectos de ingeniería y las evaluaciones de la ecología fluvial.

El desarrollo de la geomorfología fluvial ha ido a la par con los conocimientos sobre geomorfología, autores como Perrault, Surrell, Guettard, Demaresty y De Saussure se preocupaban por la degradación y formación de paisajes por acciones fluviales durante los siglos XVII y XVIII. Sus ideas fueron paulatinamente desechadas por los geólogos escoceses Hutton (siglo XVIII) y Lyell (siglo XIX), desarrollando el comienzo científico de la geología y de la geomorfología (Mateo, 2008). Los geólogos norteamericanos Dutton y Powell (siglo XIX) documentan la acción erosiva de los ríos para formar cañones siendo unos de los más interesantes avances para este siglo. Parte fundamental para el desarrollo de la geomorfología fluvial fueron las contribuciones del geólogo norteamericano Gilbert (siglo XX), aportando conceptos de equilibrio (grade), la interdependencia de las variables dentro del sistema fluvial así como la mecánica, capacidad y competencia del flujo (Morisawa, 1985)

El tratado de gran impacto "*Fluvial Processes in Geomorphology*" de Leopold (1964), proporciona la base de la investigación de los sistemas fluviales actuales. En las siguientes décadas se publicaron varios tratados de geomorfología fluvial como el Gregory (2004), forma y proceso (Richards 1982; Morisawa, 1965; Knighton, 1984,1998), ríos y paisaje (*landscape*) (Petts y Foster, 1985) y el sistema fluvial (Schumm, 1977).

1.3.1 El sistema fluvial

El concepto de sistema (Chorley, 1962) se ha utilizado en ciencias ambientales con el fin de conectar los procesos físicos, químicos y biológicos (Piégay y Schumm, 2003). Un sistema es una combinación significativa de cosas que forman un conjunto complejo, con conexiones, interrelaciones y transferencias de energía y

materia. El sistema fluvial no solo implica a los canales fluviales, sino al conjunto de redes de drenaje y zonas de sedimentación de abanicos aluviales y deltas así como escorrentías y sedimentos de ladera (Piégay y Schumm, 2003); los cuales cambian con el tiempo, debido a la actividad de los procesos erosivos y de sedimentación, cambios climáticos, modificaciones del nivel de base, tectónica cuaternaria y actividades humanas (Park, 1981).

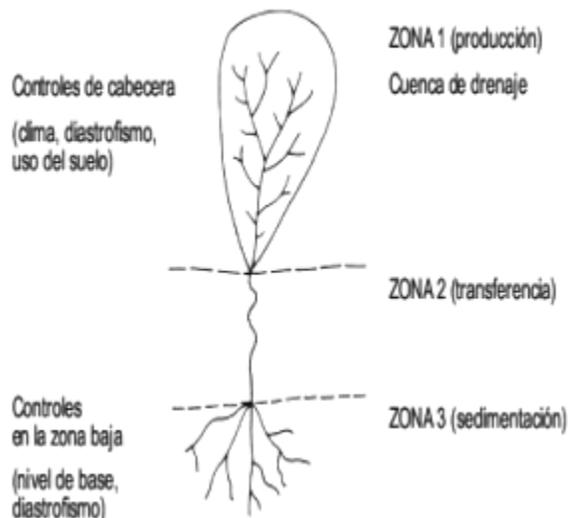


Ilustración 2. Sistema fluvial idealizado (Schumm, 1977).

En la ilustración 2, se muestra un ejemplo de un sistema fluvial idealizado propuesto por Schumm (1977). Se distinguen tres zonas. En la zona superior de la cuenca (zona 1) constituye el área de escorrentía y sedimentos, la (zona 2) es el sector de transferencia y en la (zona 3) se produce la sedimentación (abanicos aluviales, deltas, llanuras de inundación). En las 3 zonas los ríos transportan erosionan y depositan, no obstante se caracterizan por el tipo de proceso. (Gutiérrez, 2008).

Al definir los componentes de un sistema fluvial, se debe establecer una escala temporal, ya que el rango de las variables y sus intersecciones cambian según la escala utilizada, así como por procesos erosivos, climáticos, de sedimentación y sobre todo actividades humanas (Véase cuadro 3).

Las variables morfológicas independientes ajustan su respuesta en función de la interacción de variables que reflejan aspectos independientes hidrológicos y

sedimentológicos de la cuenca fluvial, las variables dependientes son la geometría del canal, que es tridimensional, la sección transversal, forma plana y propiedades del perfil longitudinal que constituyen la geomorfología completa.

Cuadro 3. Variables fluviales durante intervalos de tiempo de duración decreciente (Schumm y Lichty, 1965)

Variables de los ríos	Variables durante los intervalos de tiempo designados		
	Geológicos	Modernos	Actuales
Tiempo	Independiente	No relevante	No relevante
Geología (litología y estructura)	Independiente	Independiente	Independiente
Clima	Independiente	Independiente	Independiente
Vegetación (tipo, densidad)	Dependiente	Independiente	Independiente
Relieve	Dependiente	Independiente	Independiente
Paleohidrología (descarga de agua y sedimentos a largo plazo)	Dependiente	Independiente	Independiente
Dimensiones del Valle (anchura, profundidad, pendiente)	Dependiente	Independiente	Independiente
Descarga media de agua y sedimentos	Indeterminado	Independiente	Independiente
Morfología del canal (anchura, profundidad, pendiente, forma, sistema)	Indeterminado	Dependiente	Independiente
Descarga observada de agua y sedimentos	Indeterminado	Indeterminado	Dependiente
Características del flujo observadas (profundidad, velocidad turbulencia)	Indeterminado	Indeterminado	Dependiente

Para evaluar las interacciones antes mencionadas se hace uso del concepto de hidrosistema (vease ilustración 3), el cual es un sistema de tres dimensiones en el que el componente longitudinal (aguas arriba y abajo), lateral (margenes de canal)

y vertical/superficial (subterráneo), transfieren energía, material y biota, dependiendo de procesos hidrológicos, geomorfológicos y biológicos (Piéga y Schumm, 2003).

El comportamiento del canal implica la arquitectura de la llanura de inundación y por consiguiente, su diversidad biológica. La dimensión vertical produce la degradación o agradación del canal y estos cambios pueden inducir en las fluctuaciones biológicas y químicas de la llanura de inundación.

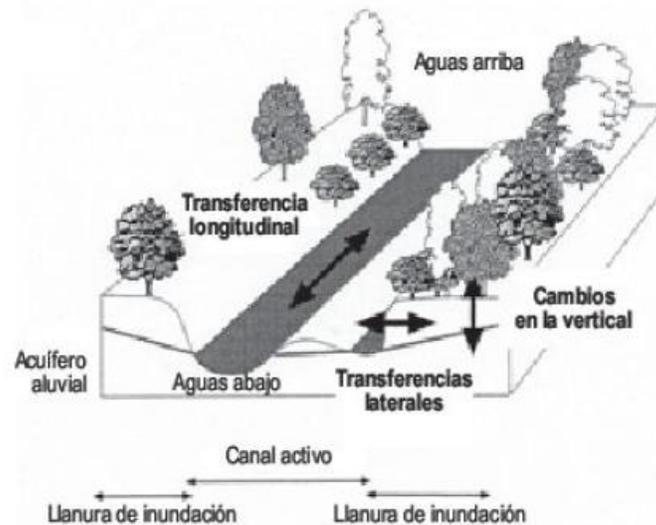


Ilustración 3. Hidrosistema (Piégay y Schumm 2003).

1.3.2. Procesos Fluviales

Según Richards (1987), el objetivo fundamental de la geomorfología fluvial es la explicación de las relaciones entre procesos físicos del flujo de canales de lecho móvil, la mecánica de transporte de sedimentos forzados por el flujo y las formas de los canales aluviales creado por el transporte de sedimento.

Se sobrentiende como fluvial, al agente característico que es el río. Un río es un cuerpo de agua que fluye en un canal; los cuales pueden ser intermitentes (fluyen estacionalmente), perennes (se presentan principalmente en regiones húmedas), o efímeros (discurre durante tormentas en zonas áridas y semiáridas) (De Pedraza, 1996). Los ríos son esencialmente agentes de erosión y transporte, que suministran a los océanos agua y sedimentos procedentes del continente, siendo el flujo de agua

una de las fuerzas más importantes que operan en la superficie terrestre (Knighton, 1998).

El flujo de agua constituye el dominio del ingeniero hidráulico, mientras que las dimensiones y el sistemas de canales son problemas geomorfológicos (Gutiérrez, 2008). Los procesos fluviales se presentan por flujos de agua encauzados o semiencauzados, con colector sencillo o múltiple, sean efímeros, estacionales, intermitentes o perennes y tengan dinámica propia de alta, media o baja energía (De Pedraza, 1996).

El más importante de todos los procesos geológicos que actúan en la superficie terrestre es el agua de escorrentía (Morisawa, 1968). Crea una gran parte del paisaje y forma llanuras de inundación. En un episodio de lluvia se presenta una concentración de la escorrentía, donde el agua que no es retenida por la cobertura vegetal (intercepción) supere la capacidad de infiltración del sustrato, pasara a ocupar pequeñas irregularidades sobre el terreno (almacenamiento en depresiones), a estos tres procesos se le conoce como abstracciones iniciales.

El movimiento de agua sobre la vertiente adquiere distinta importancia de acuerdo a la morfología, características edáficas y precipitación.

La fase de escorrentía se explica por dos modelos: Flujo superficial (Horton, 1973) y otro subsuperficial (Kirkby, 1978).

Modelo de flujo superficial o escorrentía pura. Considera una lámina de agua cuyo espesor aumenta vertiente abajo. Distingue tres zonas: una superior sin erosión, la intermedia con erosión activa, y otra inferior donde existe sedimentación. Predomina en climas áridos y semiáridos, con suelos pocos profundos y durante crecidas.

Modelo de flujo superficial o escorrentía por exceso de saturación. Considera que en la parte superior, y debido a contrastes de permeabilidad, existe un interflujo inicialmente oblicuo (por infiltración) y luego paralelo a la superficie según el gradiente del terreno. Esto hace que el agua se concentre y exfiltre en la parte inferior, provocando saturación, ocurre en climas templados-húmedos y suelos de cierto espesor.

Durante la etapa de precipitación o fusión nival los modelos actuales muestran que se requieren superficies lisas u homogéneas para su desarrollo, lo más común son terrenos con irregularidades que obligan a las escorrentías a concentrarse en microcanales o canalillos.

La importancia relativa en la escorrentía respecto a la fluvial, depende del tamaño de la cuenca hidrográfica y su densidad de drenaje.

El caudal equivale al volumen de agua por unidad de tiempo, medido en un punto determinado del conducto normalmente expresado en m^3/s ó l/s , varía con el tiempo (a lo largo de meses, o años), espacio (corrientes o zonas), en función de tres factores: clima, vegetación y complejo suelo-sustrato.

La relación entre volúmenes de precipitación y caudales acumulados en una cuenca determinada, corresponde al coeficiente de escorrentía; así mismo las variaciones espacio-temporales de caudal son la base para el estudio del régimen hídrico fluvial. La distribución temporal de los caudales depende fundamentalmente del régimen de alimentación, cuya procedencia de sus aguas puede ser: pluvial, nival, glacial, subterránea, lacustre, o mezcla y mixta (De Pedraza, 1996).

El estudio del régimen hídrico adquiere relevancia en geomorfología, por el control que los caudales y su variación ejercen sobre formas y depósitos fluviales.

Los procesos fluviales son debidos a la masa ácuea desplazándose por gravedad sobre conductos abiertos y ajustándose a las condicionantes que imponen su viscosidad, el rozamiento con el lecho y la carga de material transportado (De Pedraza, 1996).

Dadas las características y estructuración de una corriente fluvial, las acciones elementales de esta son: erosión, transporte y sedimentación en los procesos exógenos (De Pedraza, 1996).

Erosión.

El agua en si o en conjunción con la carga movilizada produce el arranque y desgaste de los materiales. Los factores que controlan su mayor o menor eficacia son: propiedades de flujo (régimen de caudales, velocidad y tipo de flujo), naturaleza de las litologías que forman el conducto, clima, condiciones del subsuelo (percolación, sufusión y humedad), geometría del colector, actividad biológica e intervención antrópica (canalizaciones, drenajes, urbanización, represamientos, dragados, etc. (Knighton, 1984).

La acción hídrica es una tensión permanente y generalizada, variable en intensidad, manifestada por arranques, arrastres y desgastes del material. La potencia total de la corriente (W), corresponde a la energía por unidad de peso (Hv) de un caudal determinado (Q), siendo por tanto equivalente a $W=QHv$.

Según Pedraza, el agua en conjunción con la carga movilizada por ella originan fenómenos químicos y mecánicos.

Los fenómenos químicos denominados corrosión, son ejercidos por el agua al ser este un compuesto químico dieléctrico, eficaz o agresivo para reaccionar con los materiales. Provocando una meteorización en las corrientes fluviales, destacando oxidación-reducción. Dicha corrosión, resulta más intensa en los tramos sometidos a crecidas y estiajes, dependiente del ambiente hidrometeorológico (régimen térmico, pluvial e hídrico), la composición del agua y los materiales afectados (textura, mineralogía y estructura del conducto).

Los fenómenos mecánicos son originados por las partículas que impulsa la corriente, conlleva choque inelástico o roce, provocando roturas, desgastes y a veces arranques de fragmentos.

El transporte

La carga es el volumen total de masa no acuosa que desplaza una corriente en un momento determinado, es movilizada por el agua según modalidades asociadas en gran medida, al tipo de erosión. Estas pueden ser disolución, suspensión, y de fondo (De Pedraza, 1996).

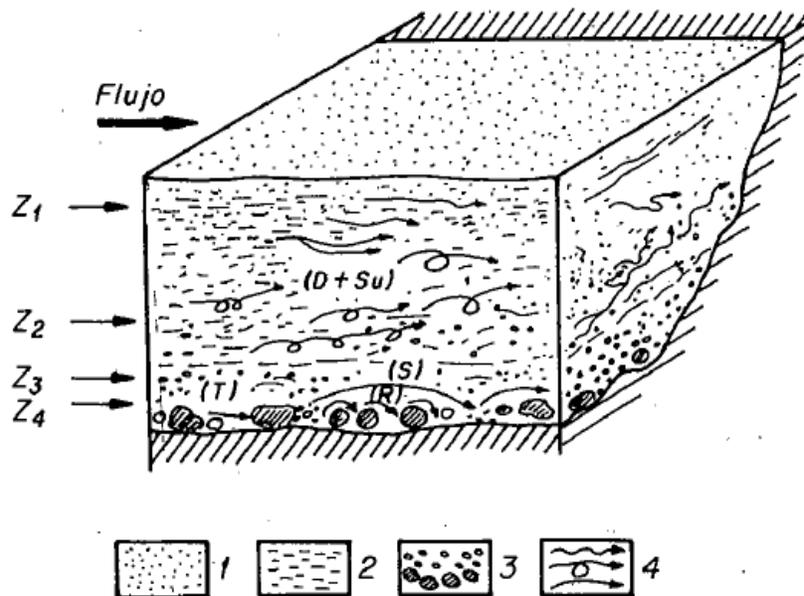


Ilustración 4. Modalidades de transporte en zonas del conducto proximas a las margenes y segun diferentes condiciones: afectando a la parte inferior (carga de fondo), con translacion de bloques deslizando por el fondo (T), rodadura de cantos (R) y saltacion de granos (S); y abarcando todo el dominio del agua, con disolucion de iones (D) y suspension de particulas (Su). Leyenda: 1 iones; 2, particulas (arcillas y limos) y granulos (arenas finas); 3, granos, cantos y bloques; 4, trayectorias de las particulas. Zonas del canal: Velocidad alta y turbulencia baja (Z_1); velocidad y turbulencia intermedias (Z_2), velocidad decreciente(Z_3); turbulencia en aumento (Z_4).

La carga en disolución está formada por iones derivados de la corrosión, otros por la atmosfera y residuos orgánicos de origen antrópico o bilógico natural. El contenido total transportado es función de la concentración que a su vez, depende del ambiente donde se localiza cada rio: climático, biológico, litológico e incluso antrópico. La temperatura y humedad ambiental, organismos y microorganismos, composición del material y movilidad en la corriente son factores básicos que controlan este tipo de transporte (De Pedraza, 1996).

La carga en suspensión es la fracción de tamaño inferior a 0,064 mm, corresponde a partículas orgánicas o minerales (coloides, arcillas y limos), desplazando por sustentación en el seno del fluido. El desplazamiento en suspensión, modifica el mismo medio receptor, las partículas que pasan al seno del fluido, generan una fase mixta solido-liquido donde el rozamiento entre laminas resulta mucho mayor,

generando un aumento de viscosidad y resistencia a la deformación, lo cual conlleva mayores tensiones de suspensión y competencia, es decir puede transportar en suspensión partículas de mucho mayor tamaño (De Pedraza, 1996).

La carga de fondo está formada por elementos gruesos, clastos en general, que no soporta el fluido o solo esporádicamente; son desplazados sobre el fondo del conducto y responden a tensiones de arrastre-empuje, está asociada a la acción hídrica y es movilizadada en función de la potencia total de la corriente como ocurre en los lechos móviles (De Pedraza, 1996).

La capacidad y la competencia son conceptos que cualifican el transporte fluvial; el primero refiere a la cantidad máxima de material con un tamaño dado (volumen), que puede transportar una corriente como carga de fondo por tracción; el segundo a su vez, al mayor tamaño de los clastos. Hidráulicamente, la competencia refleja la máxima energía del flujo y la capacidad el tiempo durante el cual ha actuado con unas determinadas condiciones energéticas (De Pedraza, 1996).

La sedimentación

Acorde con los tipos de transporte, la deposición tiene lugar según la precipitación, pues cuando se sobrepasan los límites del producto de solubilidad por estancamiento-evaporación, el ion común, temperatura, actividad bioquímica, etc.; decantación, debido a pérdidas de sustentación cuando la corriente disminuye su velocidad en remansos, estancamientos, cambios bruscos del régimen, etc.; y abandono de carga en el fondo por descenso energético de la corriente y en consecuencia de su capacidad para el empuje-arrastre.

La velocidad de sedimentación o caída, ya estabilizada en el fluido, para partículas esféricas de tamaño arena fina y con un régimen laminar, suele formularse según la ley de Stokes. La generalización de esta ley se expresa de la siguiente manera (De Pedraza, 1996).

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{g D_s P_s - P}{C D}}$$

Dónde:

V_s = velocidad de sedimentación

g = aceleración debida a la fuerza gravitatoria;

D_s = diámetro del grano

C_D = coeficiente de fricción (tabulado)

P_s = densidad del solido

P = densidad para el fluido

1.4 Llanura de inundación

El río arranca y transporta material, el cual se deposita aguas abajo tanto a lo largo de los valles, como en pie de montes y llanuras costeras. El análisis de los depósitos puede indicar velocidades, condiciones y dinámica de los procesos (Morisawa, 1985). Los sedimentos se depositan en:

Discontinuidades topográficas creadas por fallas, abombamientos corticales, sobreexcavación glacial, abrasión marina, etc. Aquí se originan entre otras formas, los abanicos aluviales.

Rellenos de valle que reflejan un conjunto de procesos complejos que originan las llanuras de inundación y terrazas.

Depósitos marginales, que son resultado de la sedimentación de aguas estancadas en las que disminuye la velocidad de transporte como deltas y los depósitos de playa (Chorley, 1984).

La llanura de inundación es la superficie aluvial adyacente a un curso fluvial y que frecuentemente suele inundarse, son relativamente planas, constituidas por aluviones que se desarrollan entre el río y los márgenes del valle. En climas húmedos las llanuras de inundación tienden a estar ausentes en la mayoría de los canales de cabecera y suelen aparecer en el punto donde el flujo del canal

cambia de efímero a perenne, que es cuando tienen una alimentación hídrica subterránea (Gutiérrez, 2006).

Los sedimentos depositados por los ríos los clasifican entre depósitos de acreción vertical y depósitos laterales. (Mackin, 1937, Fisk, 1947; Leopold y Wolman, 1957). La acreción lateral se produce por la deriva lateral de los canales y la acreción vertical tiene lugar por sedimentación vertical y crecimiento hacia arriba por deposición de partículas en suspensión.

Leopold (1964), diferencia ocho tipos de subambientes en una llanura de inundación y Happ (1940) distingue seis tipos de sedimentos aluviales.

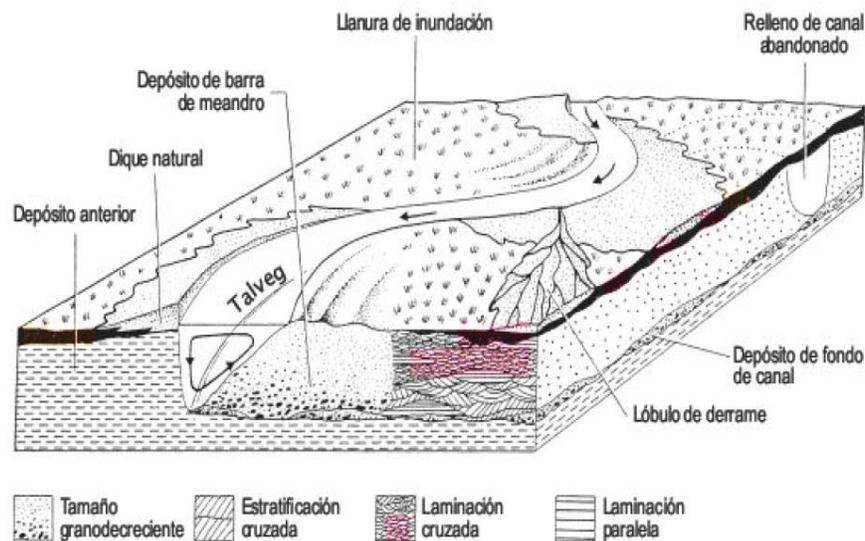


Ilustración 5. Esquema de la llanura de inundación de un curso meandriforme (Allen, 1964, 1970)

La ilustración 6 esquematiza la geometría de la llanura de inundación (Allen, 1964, 1970). Se pueden distinguir dos tipos de básicos de depósitos fluviales: depósitos de canal y de desbordamiento. Los primeros comprenden los depósitos de fondo de canal y los de barra de meandro, estos se generan principalmente por acreción lateral y se sitúan bajo los segundos, que se originan por acreción vertical y están representados por depósitos de diques naturales, de llanura de inundación y de

lobulos de derrame. Otro tipo de deposito son los de relleno de canal abandonado, con características intermedias de los dos anteriores.

En los depositos de fondo de canal los sedimentos gruesos se localizan en la base de canales, que a su vez estan rellenos por arenas y arcillas. Las barras de meandro constituyen los rasgos geomorfologicos mas caracteristicos de los meandros y son la principal sedimentacion en los canales meandriformes (Reineck y Singh, 1975).

Los grandes rios estan formados por cordones de meandros que alternan con cienegas que son depresiones alargadas y son canales en los que se produce sedimentacion durante la inundacion (Sunborg, 1956; Ollero, 1996).

Las terrazas fluviales son superficies planas formadas por un rellano y un escarpe, forman parte de la llanura de inundacion, se encuentran por encima de nivel máximo de las aguas de un rio, como resultado de la incision del mismo (Leopold, 1964).

Se puede observar a las llanuras de inundacion desde varias perspectivas diferentes. La definición de llanuras de inundacion depende mucho de las ideas y metas que se tengan. Como categoria topografica es muy plana y se encuentra al lado de un rio, geomorfologicamente es una forma de terreno compuesto principalmente de material depositado no consolidado, derivado de sedimentos transportados por el rio. En cuestion hidrológica, se define como una forma de terreno sujeta a inundaciones periodicas por un rio (Schmudde, 1968). Leopold (1964), la define como una franja de tierra relativamente plana, junto a un rio que sufre desborde las aguas durante crecidas.

Las llanuras de inundación no son estáticas ni estables. Están compuestas de sedimentos no consolidados, se erosionan rápidamente durante inundaciones y crecidas, donde se depositan nuevos estratos de lodo, arena y limo.

El ancho de una llanura de inundación está en función del caudal del rio, velocidad de la tasa erosionante, pendiente del canal y dureza de su pared. Así mismo las llanuras no son usuales en los canales de la parte alta de la cuenca fluvial, porque

los ríos son de poco caudal, las pendientes y la velocidad de profundización son altas y las paredes del valle frecuentemente muestran roca firme sin cobertura.

En ríos moderadamente pequeños, la llanura de inundación se encuentra solo en el interior de la curva de un meandro, pero la ubicación de la llanura de inundación se alterna de lado a lado a medida que el río fluye en meandros de un lado del valle al otro.

Los ríos más grandes, con lecho de poca pendiente desarrollan amplias llanuras de inundación. A medida que estas llanuras se desarrollan, la migración de un lado a otro del canal del río produce lagos semilunares, desprendimiento de diques naturales y depósitos de ciénagas desconectados del canal actual.

Los depósitos de llanura de inundación se encuentran en las partes más bajas de estas llanuras ocupando extensiones de metros y kilómetros. Su litología en corte puede ser variada y refleja que está afectada por cambios en los procesos de sedimentación. Cuando se deseca la llanura de inundación durante un intervalo de tiempo considerable se producen procesos edafogénicos, que quedan intercalados como paleosuelos en el conjunto de depósitos de llanura de inundación (Miall, 1996).

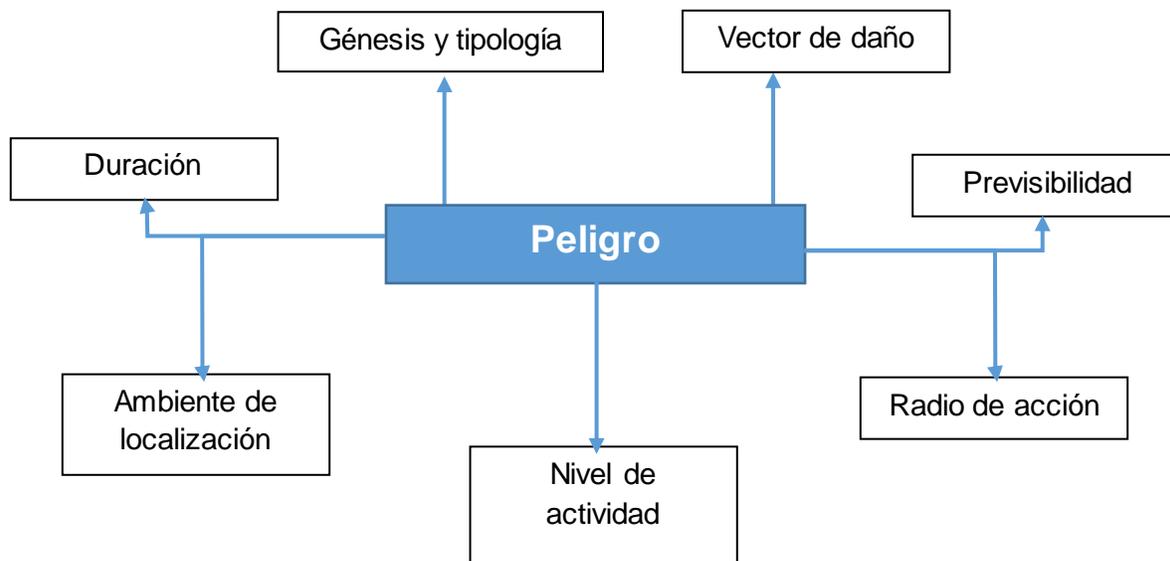
1.5 Riesgo

Para Keller y Blodgett (2004), realiza una diferenciación entre riesgo, desastre y catástrofe. El riesgo o riesgo natural, es un proceso natural que representa una amenaza para la vida humana o la propiedad. El suceso en sí no es un riesgo, más bien un proceso natural se convierte en un riesgo cuando amenaza los intereses humanos. Un desastre, o desastre natural, es el efecto de un riesgo en la sociedad, normalmente en forma de un suceso que ocurre en un periodo de tiempo limitado y en una zona geográfica definida; el término es utilizado cuando la interacción entre seres humanos y un proceso natural tiene como resultado un daño considerable en la propiedad, heridas o pérdida de vidas. Una catástrofe, es un desastre masivo que requiere un gasto considerable de tiempo y dinero para la recuperación.

Olcina (2012), presenta tres enfoques para la definición del riesgo natural. Dentro del enfoque naturaleza, lo define como el umbral de la dinámica natural de carácter extraordinario rebasado por el hombre en el desarrollo de sus actividades. En el enfoque social lo define como el grado de aceptación de la peligrosidad natural por un grupo humano, por último el enfoque territorial lo define como la plasmación territorial de una actuación humana poco acorde con los rasgos extremos del medio donde tiene lugar. En conclusión define al riesgo como la posibilidad de que un territorio y la sociedad que lo habita pueda verse afectado por un fenómeno natural de rango extraordinario.

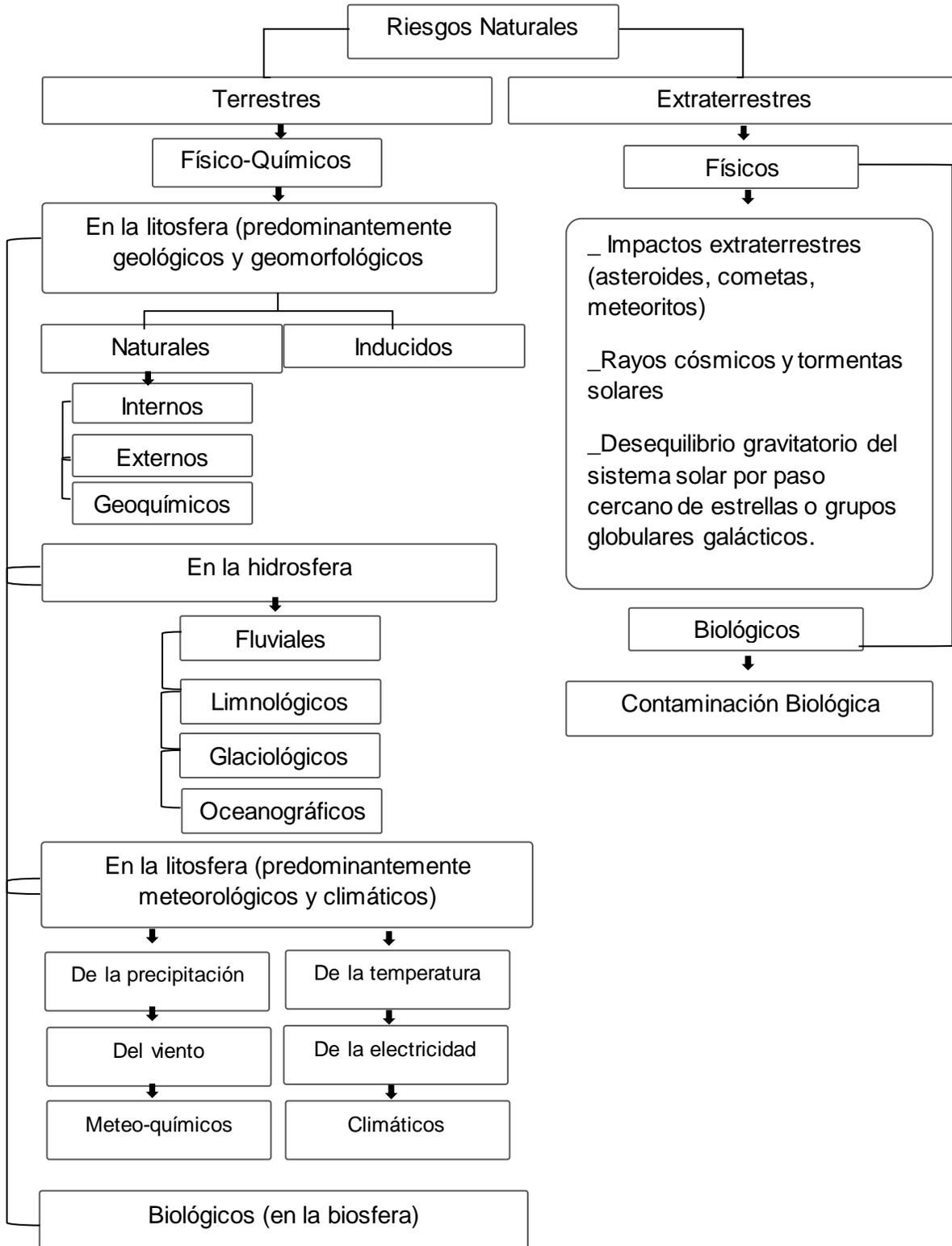
Menciona que la complejidad exige siempre jerarquía ante todo, pues en los riesgos se incluyen también los tecnológicos (accidentes industriales, nucleares, de tráfico, entre otros) y los sociales, ligados a los hábitos de vida como el tabaquismo, delincuencia y drogadicción. Realiza una clasificación de los riesgos de acuerdo a múltiples criterios.

Esquema 5. Componentes del Peligro (Olcina, 2012)



Así mismo Olcina realiza una clasificación de los riesgos naturales, los divide en terrestres y extraterrestres (Véase esquema 6).

Esquema 6. Clasificación de los riesgos (Olcina 2012)



Un principio fundamental para entender los riesgos naturales es que se trata de sucesos repetitivos y por lo tanto el estudio de su historia proporciona información muy necesaria para cualquier plan de reducción de riesgos (Keller y Blodgett, 2004).

1.6 Riesgo por Inundaciones

El proceso natural por el cual el flujo rebosa el cauce se denomina inundación. La mayoría de las inundaciones de un río está relacionado con la cantidad y distribución de las precipitaciones en la cuenca de drenaje, la humedad del suelo, la velocidad a la que las precipitaciones saturan el suelo y la rapidez con la que la escorrentía superficial de dichas precipitaciones llega al río. Si cae una precipitación considerable en una cuenca de drenaje saturada, ocurrirá una inundación.

Una inundación se caracteriza por el caudal de inundación, se define como el caudal cuando el agua desborda las orillas del cauce.

Keller y Blodgett (2004), definen a la inundación como la altura de la lámina de agua de un río a la que se le hace referencia como fase del río. El hidrógrafo muestra a través de un gráfico los cambios en el caudal del río, así como la profundidad del agua.

El término fase de inundación se utiliza para indicar que la elevación de la lámina de agua ha alcanzado un nivel que probablemente causara daño a la propiedad. Esta definición está basada en la percepción humana, de manera que la elevación que se considera fase de inundación depende del uso humano de la llanura de inundación.

Las estaciones pluviométricas proporcionan un listado de los caudales máximos anuales, proyectando en una curva caudal-frecuencia obteniendo el intervalo de recurrencia (R) para cada caudal a partir de la relación. Donde "R" es el intervalo de recurrencia en años, "N" el número de años de registro y "M" el grado de caudal individual en los años registrados

$$R = (N + 1) \div M$$

Al recoger registros de flujo se pueden predecir las inundaciones con más precisión. Sin embargo, diseñar estructuras para una inundación de 10, 25, 50 o 100, cualquier crecida es un riesgo calculado porque la predicción de dichas inundaciones se basa en una probabilidad estadística.

Las inundaciones pueden caracterizarse por el lugar en el que ocurren en una cuenca de drenaje. Se presentan las inundaciones de cabecera y las de valle. Las primeras ocurren en la parte alta de las cuencas fluviales y en algunas pequeñas cuencas de drenaje de afluentes de un río más grande, producidas por lluvias intensas de corta duración en una zona relativamente pequeña; si las inundaciones son repentinas y de un volumen alto se llaman riadas (Keller y Blodgett, 2004). Las inundaciones de valle aparecen en una zona amplia y están producidas normalmente por tormentas de larga duración que saturan el suelo y producen un aumento de la escorrentía, caracterizada por el movimiento aguas abajo de las aguas de inundación con un gran aumento y decremento del caudal en un punto determinado.

Los efectos de una inundación pueden ser primarios, los cuales son causados directamente por la inundación, o bien secundarios, causados por el trastorno y mal funcionamiento de servicios y sistemas debido a la inundación.

Varios factores definidos por Keller y Blodgett (2004), influyen en el daño causado por las inundaciones:

Uso del terreno en la llanura de inundación

Profundidad y velocidad de las aguas de inundación

Ritmo de subida y duración de la inundación

Estación del año en que tiene lugar la inundación

Cantidad y tipo de sedimento depositado por las aguas de inundación

Efectividad del pronóstico, alerta y evacuación.

1.7 Reducción del Riesgo ante inundaciones (Medidas estructurales y no estructurales)

Dicho en el punto 1.6, las causas de las inundaciones son las precipitaciones y las características físicas de la cuenca y de la llanura de inundación. Las presiones son los factores que inducen e intensifican las crecidas y sus impactos. La caracterización hidrológica del fenómeno depende del tipo de avenida y de la probabilidad con que se presenta. Los impactos son los efectos producidos en el medio ambiente y en el medio socioeconómico por las crecidas. Las respuestas son las medidas de defensa empleadas para limitar las inundaciones (estructurales) y sus efectos (no estructurales)

Las medidas estructurales engloban todas aquellas construcciones que reducen o evitan el posible impacto de la inundación, incluyendo un amplio rango de obras de ingeniería civil. Su funcionalidad se encuentra limitada, ya que se diseña para eventos asociados a una cierta probabilidad anual de excedencia, de manera que si se produce un evento superior la estructura no es capaz de proporcionar la protección necesaria frente a la inundación, y pierde su funcionalidad.

Según la escuela de organización Industrial (eoi) Se dividen en tres grupos:

Estructuras de retención: Su misión consiste en retener el agua para evitar inundaciones asociadas a grandes caudales.

Estructuras de protección: Estas estructuras protegen la zona urbana de forma directa, evitando la entrada del agua en la ciudad. Para ello se emplean estructuras como diques o simples muros verticales.

Sistemas de drenaje: Los sistemas de captación y drenaje se diseñan para la gestión del agua de escorrentía generada por un evento de precipitación en la zona urbana y sus alrededores. Estos sistemas incluyen un complejo sistema de imbornales, arquetas, tuberías, colectores, estaciones de bombeo, etc.

Las medidas no estructurales incluyen políticas, concienciación, desarrollo del conocimiento, reglas de operación, así como mecanismos de participación pública e información a la población, de modo que puede reducirse el riesgo existente y los

impactos derivados de la inundación. Buscan la reducción de la vulnerabilidad de la población en riesgo a partir del planeamiento y la gestión llevados a cabo antes, durante y después de la catástrofe, pudiendo clasificarlas en seis grupos:

Política y planeamiento urbano: Trata de desarrollar normativa que regule el uso de suelo y el tipo de edificación, en zonas de elevado riesgo de inundación y en consecuencia realización de planeamientos urbanos que tengan en cuenta las zonas con riesgo de inundación.

Predicción de inundaciones: Estimación del desarrollo, tiempo y duración de una avenida, especialmente del caudal máximo en un punto específico del cauce como consecuencia de fuertes precipitaciones o del deshielo.

Comunicación: Se diferencian dos medidas de comunicación:

Comunicación general a la población en materia de riesgo de inundación ya que aporta un mejor entendimiento del riesgo existente, además de facilitar el conocimiento de los procedimientos de actuación durante la inundación.

Comunicación durante el evento de inundación que se centra en el aviso a la población sobre la amenaza de carácter inminente, mediante la utilización del sistema de alarma.

Movilización: Se clasifican en tres categorías en función del tiempo disponible para la evacuación:

Evacuación preventiva: con anterioridad al evento de inundación.

Evacuación forzosa: durante el desarrollo de la inundación.

Huida: desplazamiento por efectos de un evento inminente.

Coordinación y procedimientos de operación: Tratan de lograr una mejora en la comunicación entre diferentes organizaciones y actores con un papel de relevancia en la gestión del riesgo de inundación.

Seguros e indemnizaciones: son herramientas clave para financiar las pérdidas producidas por un evento de inundación. Las cuotas de los seguros son mayores para las zonas con riesgo de inundación y las indemnizaciones.

Capítulo II

Aspectos Generales de la Cuenca del Papaloapan

Características Generales de la cuenca del Papaloapan

Por sus características, y en función de los límites de cuencas hidrológicas establecidos por la Comisión Nacional del Agua, en la costa veracruzana se delimitan cuatro regiones hidrológicas de norte a sur (Mapa 2): RH-26 Panuco, RH-27 norte de Veracruz o Tuxpan-Nautla, RH-28 Papaloapan y RH-29 Coatzacoalcos.



Mapa 2. Regiones Hidrológicas del Estado de Veracruz.

La región RH-28 Papaloapan, ocupa el 41.11% del total de la superficie territorial estatal con 28,636 km², representando el 39.32% del total de las regiones, siendo la región con mayor descarga de agua dulce (44,829 millones de metros cúbicos por año (CONAGUA, 2005). Forma parte de la Región Hidrológica Administrativa (RHA) X, Golfo-Centro (GC). Esta RHA comprende 445 municipios de cuatro estados: 189 de Veracruz, 161 de Oaxaca, 90 de Puebla y cinco de Hidalgo (Véase mapa 2). Para efectos administrativos, de acuerdo al Diario Oficial de la Federación

de fecha 1 de abril de 2010, el Organismo de Cuenca Golfo Centro (OCGC) queda con 432 municipios (CCRP, 2014). El sistema determinante para esta región hidrológica es la cuenca del río Papaloapan, y de manera secundaria los ríos Actopan, La Antigua y Jamapa.

El municipio de Tlacotalpan forma parte de la región RH-28 Papaloapan, asimismo la zona objeto de estudio de esta investigación se encuentra dentro del sistema fluvial de la cuenca del río Papaloapan (Véase mapa 3).



Mapa 3. Subcuencas de la cuenca del Papaloapan, Estado de Veracruz.

La cuenca del río Papaloapan se encuentra geográficamente entre los 16°55' y 19°03' latitud norte, y los 94°40' y 97°48' longitud oeste (CONAGUA, 2005). Tiene un área aproximada de 46,517 km², distribuida en los estados de Oaxaca (51%), Veracruz (37%) y Puebla (12%), donde el 45% del total del área corresponde a

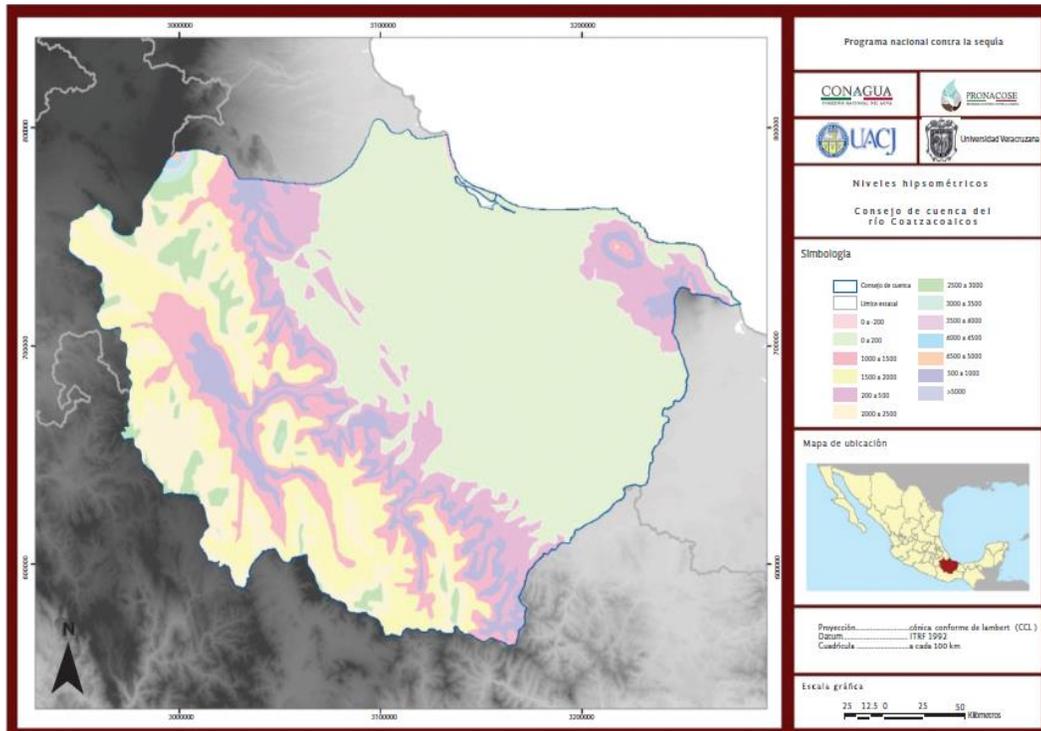
terrenos planos y ondulados de la planicie costera y el 55% restante está constituido por la zona montañosa y quebradas de las sierras, con excepción de los pequeños Valles de la Cañada y la Mixteca (SARH, 1976).

En general la cuenca del Papaloapan se extiende en cuatro provincias fisiográficas como se muestra en la tabla 1.

Provincia	Porcentaje de cobertura
Sierra Madre Sur	51.99
Llanura costera del Golfo Sur	43.31
Eje Neo-volcánico	3.39
Agua Perenne	1.31

Tabla 2. Provincias Fisiográficas del Río Papaloapan (CCRP 2014).

Las elevaciones del terreno de la cuenca del Río Papaloapan van desde niveles de los 0 msnm hasta elevaciones por arriba de los 5800 msnm



Mapa 4. Modelo digital del Terreno de la cuenca del Papaloapan.

A grandes rasgos la topografía del terreno de la cuenca del Papaloapan, se determina por lagunas, ríos, pantanos, así como planicies con pendientes menores del 10%, laderas y montañas con pendientes mayores del 25%. De acuerdo con la morfología general de la cuenca, contribuye a la formación del río Papaloapan con el sistema fluvial más importante del país por su caudal, con un escurrimiento medio anual de 47,000 millones de metros cúbicos con una travesía que concluye en el Golfo de México, a través de la Laguna de Alvarado (Pereyra y Pérez, 2010).

De acuerdo a los parámetros morfométricos como indicadores de la respuesta hidrológica de una cuenca y de su funcionamiento como recolector de lluvia, en este apartado se proporcionan los parámetros correspondientes a las subcuencas que conforman el Consejo de Cuenca de Papaloapan, la importancia de esta información estriba en el hecho de que la forma y el tamaño de una cuenca son condicionantes del volumen de escurrimiento y del caudal máximo (CCRP, 2014).

Morfometría	Valor del parámetro	Indicador
Área (km²)	2555.71	Muy grande
Forma	Exorreica	Punto de salida: mar
Densidad de drenaje (km/km²)	1.3836	Cuenca con drenaje pobre: alrededor de 0.5 Cuencas bien drenadas alrededor de 3.5
Orden de las corrientes	s/d	
Sinuosidad de las corrientes	2.523323	S menor o igual a 1.25 indica baja sinuosidad

Tabla 3. Parámetros físicos-morfométricos de la subcuenca del río Papaloapan, Red Hidrológica INEGI.

Los aspectos que principalmente influyen en el escurrimiento superficial de la cuenca son: la pendiente del cauce y el desnivel en el cauce. En la tabla 3 se describen los valores de los parámetros físicos-relieve del río Papaloapan.

Relieve	Valor del Parámetro
Pendiente media	3.56%
Pendiente del cauce principal	0.075%
Desnivel en el cauce principal	s/d
Longitud total del cauce principal	116232m.

Tabla 4. Parámetros físicos-relieve del río Papaloapan.

Características como uso del suelo, su textura, la ubicación de poblados y ciudades, aparte de configurar el paisaje regional, son factores que contribuyen en el comportamiento del escurrimiento superficial y en la capacidad de infiltración del agua que llueve en una cuenca, la cual tiene un rol importante dentro del diseño, dimensión y operación de obras hidráulicas.

En cuanto a Morfodinámica, la predicción de las tendencias de evolución morfológica de los cauces aluviales es importante para la planificación de actividades humanas en el ambiente fluvial, tanto sobre el cauce como sobre la planicie de inundación. Entre esas actividades pueden citarse la construcción de obras civiles tales como caminos, puentes o cruces de conductos, o bien actividades productivas, tales como agricultura y ganadería (Farias *et al.*, 2007). Por tanto, se hace necesario conocer el comportamiento de los cauces que interactúan con estas intervenciones sobre el medio natural.

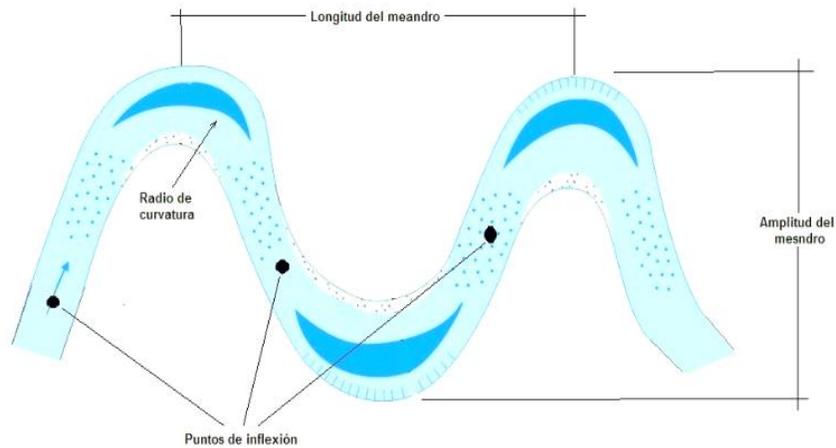
Los procesos involucrados en la movilidad de cauces sinuosos y el escaso nivel de conocimiento actual de los mecanismos asociados a ellos, hacen más difícil la cuantificación precisa de estos fenómenos referidos a las tasas de migración de los cauces. Sin embargo, hoy en día se tiene la disponibilidad de recursos importantes como técnicas de percepción remota (imágenes satelitales de alta resolución), con las cuales se puede evaluar la movilidad del canal a lo largo de la historia estimando las tasas de erosión en las bancas contando con modelos hidrodinámicos para simular los procesos que se presentan en los sistemas fluviales. La implementación

de dichos recursos genera una buena aproximación a la solución de la problemática asociada a estos procesos.

La configuración y geometría de un cauce con meandros están determinadas por los procesos de erosión y agradación que ocurren en el canal. La ilustración 7 muestra un esquema con los parámetros principales de un meandro. La movilidad de los meandros puede clasificarse en dos categorías: a) la migración hacia aguas abajo de todo el meandro y b) la expansión de la curvatura del meandro, su estrangulamiento y finalmente el corte del mismo. El desarrollo de meandros incrementa la longitud del río y por consiguiente disminuye la pendiente.

El movimiento de meandros se manifiesta mediante procesos de erosión y sedimentación actuando simultáneamente. Las velocidades del flujo en las curvas exteriores son significativamente mayores que las velocidades en las curvas interiores;

que en la exterior espera en la interior se



mientras curva se erosión, curva espera

sedimentación.

Ilustración 6. Parámetros principales de un meandro (Abad, 2006)

La erosión de las orillas representa dos procesos, la erosión por fricción y la falla de la banca. La primera es causada directamente por el esfuerzo cortante en la superficie de la banca y la segunda se produce por el mecanismo de falla del material del talud iniciada en la parte del mismo.

Capítulo III

Caracterización Geomorfológica del Municipio de Tlacotalpan Veracruz

Geología y Morfografía

Geología

La geología como ciencia, se origina a partir de los conceptos del naturalista escocés James Hutton, quien en 1788 postuló su famoso principio del “uniformismo”, el cual establece simplemente que las leyes físicas, químicas y biológicas que actúan hoy, lo han hecho también en el pasado (Tarbuck y Lutgens, 2000).

Edad (Ma)	Era	Período	Época		
0.01-0	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Erupción del Volcancillo	
0.01-1.8			Pleistoceno	Formación de los estratovolcanes Cofre de Perote y Pico de Orizaba	
5.3-1.8		Neógeno	Piloceno	Inicio del vulcanismo de la Faja Volcánica Transmexicana	
23.8-5.3			Mioceno		
33.7-23.8		Paleógeno		Oligoceno	Formación de la provincia ignimbrítica de la Sierra Madre Occidental
54.8-33.7				Eoceno	Formación de la planicie costera del Golfo
65-54.8				Paleoceno	Orogenia Laramide. Formación de la Sierra Madre Oriental
144-65	Mesozoico	Cretácico		Formación de las plataformas marinas de Córdoba, Tampico-Misantla y San Luis Valles	
206-144		Jurásico			
246-206		Triásico		Transgresiones marinas, formación de depósitos evaporíticos (yesos)	
290-248	Paleozoico	Pérmico		Inicio de la separación de Pangea y apertura del Golfo de México	
354-290			Carbonífero	Orogenia Marathon-Wachita	
443-417		Mississípico	Formación de Pangea	Pensilvánico	
		Devónico			
		490-443		Ordovícico	
540-490		Cámbrico			
2500-540		Proterozoico			
4600-2500	Arqueozoico				

Ilustración 1. 1. Tiempo geológico con algunos de los eventos más relevantes a escala global que influyeron en lo que actualmente es el territorio mexicano y en particular el

Durante el siglo XIX se empezó a elaborar una escala de tiempo geológico basada en un ordenamiento secuencial de los eventos sin conocer su antigüedad en años (edad relativa), lo cual fue desarrollado aplicando el principio de la superposición, que establece que en una secuencia normal de rocas sedimentarias o coladas de lava, las capas superiores son más jóvenes que las inferiores. El surgimiento y consolidación de la paleontología, o sea el estudio de las manifestaciones de vida

en el pasado geológico, fue también fundamental para establecer una cronología de los sucesos geológicos. (Rodríguez y Morales, 2012)

Posteriormente, con el descubrimiento de la radiactividad a finales del siglo XIX y el perfeccionamiento de los métodos radiactivos de fechamiento, fue posible asignar edades absolutas a las rocas y por consiguiente a los fenómenos que las originaron. La imagen 1 muestra una escala de tiempo geológico con algunos de los acontecimientos más relevantes que contribuyeron a la conformación de lo que ahora es el estado de Veracruz.

Desde el punto de vista geológico el sureste Mexicano es una de las áreas más complejas de Norteamérica, lo que se debe a que los movimientos de las placas tectónicas Norteamericana, del Caribe y de Cocos, convergen en esta región desde el Oligoceno Tardío; la Placa Norteamericana tiene un movimiento relativo hacia el Oeste respecto a la del Caribe, mientras que la de Cocos se mueve hacia el Noroeste en dirección hacia las dos primeras. Las estructuras resultantes de esta actividad tectónica durante el Mesozoico y Cenozoico presentan tendencias estructurales diversas, así como también edades de deformación diferentes (Padilla y Sánchez, 2007)

La geología y morfología del Estado de Veracruz, ha sido resultado de largos procesos que ocurren lentamente, tales como levantamiento del terreno, erosión, formación de cuencas, fallas geológicas y glaciaciones, y otros que ocurren de manera rápida, tales como deslizamientos de tierra, inundaciones, terremotos o erupciones volcánicas, todos estos fenómenos relacionados con una dinámica global y otros con eventos locales (Rodríguez y Morales, 2012).

El municipio de Tlacotalpan, pertenece a la Planicie de Golfo de México, formado por sedimentos Palustres, aluviales, eólicos y lacustres. Particularmente el predio está formado por la acumulación de sedimentos fluviales, mezclados con sedimentos palustres y biogénicos. La vegetación de manglar y otros humedales ha creado geoformas típicas de un ambiente costero y de humedal como facies de inundación permanente y temporal.

El Municipio de Tlacotalpan tiene varios tipos de suelos aunque hay uno que predomina y que es el Gleysol vértico y en una menor proporción el Gleysol eútrico. Los Gleysoles son suelos que se caracterizan en que al menos alguna de sus capas se satura periódicamente con agua, son muchas veces de color gris o verdoso y cuando se secan aparecen manchas rojizas, se aprovechan en función del grado de inundación que presentan y de su fertilidad y textura. Formados a partir de materiales no consolidados, con exclusión de los materiales de textura gruesa (excepto si hay presencia de un horizonte H hístico) y de los depósitos aluviales que presentan propiedades flúvicas, que muestran propiedades gléicas dentro de una profundidad de 50 cm a partir de la superficie, sin otros horizontes de diagnósticos más que un horizonte A, un horizonte H hístico, un horizonte B cámbico, un horizonte cálcico, sulfúrico o gypsico; carecen de características que son de diagnóstico para los Vertisoles o Arenosoles; carecen de propiedades sálicas; carecen de plintita dentro de una profundidad de 125 cm a partir de la superficie (Figura 25).

Los Gleysoles eútricos, tienen al menos entre 20 y 50 cm de profundidad a partir de la superficie; sin otros horizontes de **diagnostico** más que un horizonte A ótrico y un horizonte B cámbico.

Geología7* : Omitiendo los cuerpos de agua. Palustre (49.69 %) Aluvial (31.29 %) Eólico (16.46 %) Lacustre (2.18 %) *El porcentaje restante es ocupado por espec

Hábitat

TABLA 31. INDICADORES DE SENSIBILIDAD Y VULNERABILIDAD DE ALGUNOS SUELOS.

Sensibilidad (Fragilidad)	Unidad de suelo	Elemento crítico	Indicadores Ambientales de deterioro	Vulnerabilidad
Baja	Bd Cambisol distríco.	Erodabilidad, pH y moderada estabilidad de agregados	Erosión, remoción en masa y acidificación	Baja
	Ge Gleysol eútrico.	Posición topográfica	Inundación	Baja
	Gp Gleysol plintico.	Posición topográfica y endurecimiento del horizonte	Inundación y laterización	Baja
	Gv Gleysol vértico.	Posición topográfica	Inundación	Baja
	Hc Feozem calcárico.	Posición topográfica	Inundación	Baja
	Hd Feozem distríco.	Moderada estabilidad de agregados y pH	Erosión y acidificación	Baja
	Hh Feozem háplico.	Moderada Estabilidad de agregados	Erosión	Baja
	Hi Feozem lúvico.	Moderada Estabilidad de agregados y pH	Erosión y acidificación.	Baja
	Kc Castañozem calcárico.	Moderada Estabilidad de agregados	Erosión	Baja
	Kl Castañozem lúvico.	Moderada Estabilidad de agregados	Erosión	Baja
	Lg Luvisol gléyico.	Posición topográfica	Inundación	Baja
	Qc Arenosol cámbico.	Escaso desarrollo de los horizontes	Inestabilidad del material	Baja
Vp Vertisol pélico	Posición topográfica y drenaje interno	Inundación	Baja	
Vc Vertisol calcárico.	Posición topográfica y drenaje interno	Inundación	Baja	

Cartografía Morfológica y Morfométrica

La importancia de la representación de los elementos del relieve, proporcionan información aplicable al conocimiento de la dinámica, génesis y evolución para poder determinar los procesos (endógenos y exógenos). La litología (tipo de formación rocosa, textura, grado de meteorización, actividad tectónica, etc.) y las estructuras de falla presentes en la cuenca determinan el tipo de cauce (aluvial o controlado por roca) y de valle, al igual que la calidad de los materiales que caracterizan los procesos de erosión, transporte y depositación (Arbeláez y Posada, 2002).

Lugo (1988), refiere que los elementos de los cuales se puede cuantificar a partir de la forma del relieve son: longitud, altura absoluta, pendiente, densidad, entre otros. Todo esto contribuye a una representación visual, y específica del relieve terrestre.

Por lo tanto, la fisiografía de Veracruz presenta como rasgos fisiográficos; línea costera, llanuras, sistemas aluviales y sierras asociadas. La línea costera está muy influida por una sedimentación progradante relacionada con el desarrollo de islas de barrera (y complejos asociados), lagunas, estuarios y marismas. Las llanuras son el rasgo dominante e incluyen planicies de inundación, abanicos fluviales, terrazas marinas y playas. La Provincia Llanura Costera del Golfo Sur ocupa cerca de la mitad del territorio veracruzano, y es una llanura sedimentaria costera de fuerte aluvionamiento por parte de algunos de los ríos más caudalosos del país, incluyendo el Papaloapan, el Coatzacoalcos, el Grijalva y el Usumacinta, que la atraviesan para desembocar en el sector sur del Golfo de México (Geissert, 1999).

En esta sección se muestran los materiales cartográficos obtenidos, así como su análisis e interpretación de los mapas siguientes:

Altimetría

Pendientes

Ordenes de drenaje

Densidad de disección

Mapa Altimétrico

La elaboración de este mapa ayuda a visualizar el escalonamiento general del terreno, por medio de la diferenciación altitudinal entre dos curvas de nivel, así como la representación de las distintas formaciones existentes en el espacio, rasgos geométricos del relieve y la identificación de estructuras (Carbajal, 2004).

El mapa hipsométrico o altimétrico, tiene puntos polarizados la cota 4 m.s.n.m. (la menor altitud del terreno y la isolínea 150 m.s.n.m., de las cuales resulta una diferencia altitudinal de 146m y cuya sección intermedia en el municipio es la altitud de 73m.

A continuación, se realizó una subdivisión en 9 rangos sucesivos para su representación, diferenciados en una gama de colores que inicia con tonos verdes, amarillo, naranja, rojo, café y por ultimo negro, los cuales representan de manera respectivas zonas bajas del relieve, hasta las de mayor rango de elevación; como se muestra en la tabla siguiente:

No. Rango	Color	Cotas (m.s.n.m.)
1		4 - 12
2		12 - 17
3		17 - 22
4		22 - 29
5		29 - 41
6		41 - 57
7		57 - 77
8		77 - 109
9		109 - 150

Cuadro 4. Rangos altitudinales.

Análisis e interpretación

El municipio de Tlacotalpan Veracruz pertenece a la llanura costera veracruzana, tiene un relieve plano, caracterizado por ser una planicie de inundación en la mayoría de su territorio, con un número abundante de áreas bajo inundación permanente y algunas inundaciones periódicas, de igual manera se pueden encontrar regiones pantanosas; con un gradiente altitudinal que va desde los 4 m.s.n.m. a 10 m.s.n.m., donde no se localizan elevaciones de mayor consideración.

Se obtuvieron 9 rangos de altitud utilizando cotas que representan las alturas del terreno. Estos intervalos fueron clasificados de acuerdo al objetivo, dando tonos claros a zonas topográficamente bajas y tonos fuertes a zonas topográficamente elevadas.

A manera visual, la concentración se especifica en los dos primeros rangos, que abarca en mayor proporción al municipio analizado, van desde los 4 m.s.n.m. hasta los 17 m.s.n.m., siendo las altitudes más representativas.

Como principal unidad geomorfológica se presenta una planicie de acumulación, debida a acciones como la meteorización, erosión areal y lineal del agente agua, así como el clima, cuyas variables físicas han modificado y seguirán modificando los rasgos topográficos. Los depósitos recientes o sedimentos, son producto de materiales orográficos localizados cuenca arriba, y arrastrados cuenca abajo transportados por el río Papaloapan, representados por el rango 3 (17 a 22 m.s.n.m.), donde existe una notable acumulación de materiales o depósitos exógenos aluviales y lacustres.

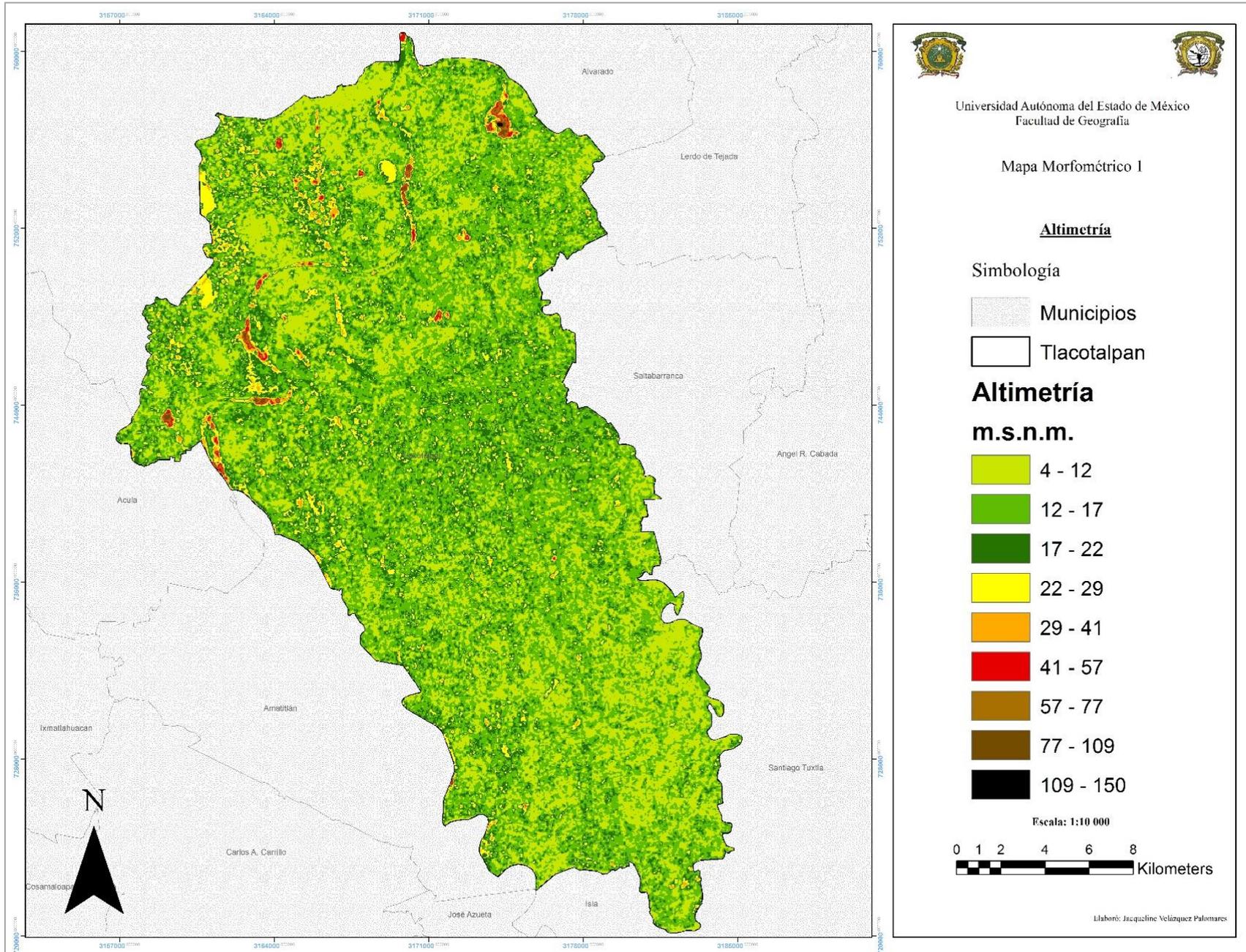
La zona o localidad urbana del municipio se localiza en la llanura de inundación, lindante al río Papaloapan, la cual en épocas de lluvias o ante presencia de fenómenos hidrometeorológicos se ve afectada la población así como el sector económico. El rango altitudinal del río dentro del municipio, va desde los 4 m.s.n.m. hasta los 77 m.s.n.m.

Asimismo el río presenta islas formadas por los brazos del meandro, abarca desde el rango cinco al ocho (29 a 109 m.s.n.m.), en donde existe una notable acumulación de sedimentos aluviales o bien materiales de cuenca arriba, debido a la altitud y geoformas por donde descienden las aguas superficiales.



Ilustración 2. Vista río Papaloapan

Por otro lado, se han creado barreras antropogénicas hechas del material que se encuentra en la zona, esto para evitar el desborde y el riesgo por inundación a las localidades aledañas al río, resultando importantes ya que de cierta manera el paisaje se ve modificado de acuerdo a las leyes naturales que presenta el entorno.



Mapa de Pendientes

El mapa de pendientes identifica las áreas de un territorio que tienen el mismo ángulo de inclinación con respecto a una horizontal, distinguiendo zonas escarpadas, áreas de acumulación de material, derrames lávicos, mesetas o bien, zonas de inundación. Martínez (2004), menciona que este tipo de mapas permite identificar las diferentes unidades geomorfológicas, así como el escalonamiento del terreno, ruptura de pendientes, entre otras

Para especificar el ángulo de la pendiente, se eligieron seis rangos, para distinguir de la mejor manera a la unidad geomorfológica perteneciente: orografía, piedemonte (alto, medio, bajo), y planicies acumulativas. Siguiendo este mismo orden se emplearon los colores partiendo de las zonas de menor inclinación con el color verde, hasta zonas de mayor inclinación con color negro. Los colores (Ilustración 8) fueron adecuados para una mejor visualización e interpretación del mapa.

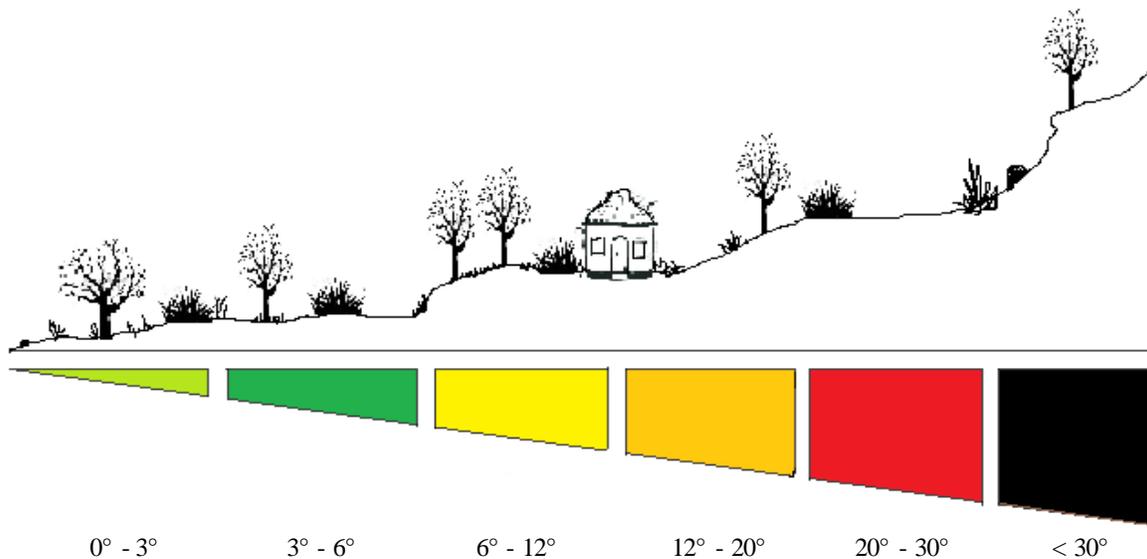


Ilustración 8. Gama de colores aplicados para la interpretación del mapa de pendientes.

Análisis e Interpretación

La localidad de Tlacotalpan se conceptualiza como una zona urbana, donde reside la mayor parte de personas del municipio y esta se encuentra en la llanura de inundación. Tras analizar los modelos de elevación y el recorrido por las distintas calles de la zona urbana, fue notable observar que las pendientes no son destacables pues el terreno es completamente plano.

Esta característica de una pendiente cercana o de 0% permite que los ríos y lagunas se desborden con mucha facilidad como es el caso de lo río Papaloapan, y al propio tiempo dificulta el diseño de los sistemas de drenaje urbano o canales de desagüe especialmente en la cabecera municipal

La unidad de planicie localizada en la mayor parte de la zona, presenta un relieve semiplano con poca diferencia altitudinal, donde la mayor porción del terreno no rebasa los 6° de inclinación de la pendiente, donde yacen las zonas prioritariamente de inundación y de procesos de acumulación.

Debido al nulo ángulo de inclinación de la pendiente, dentro de la localidad se presenta otro problema aparte de las inundaciones. Este problema afecta a gran parte de los residentes pues el drenaje urbano debido a la nula pendiente, no permite que se realice el recorrido de las aguas pluviales, fluviales y aguas negras siendo estancadas y saturadas provocando desbordes de las mismas por alcantarillados.

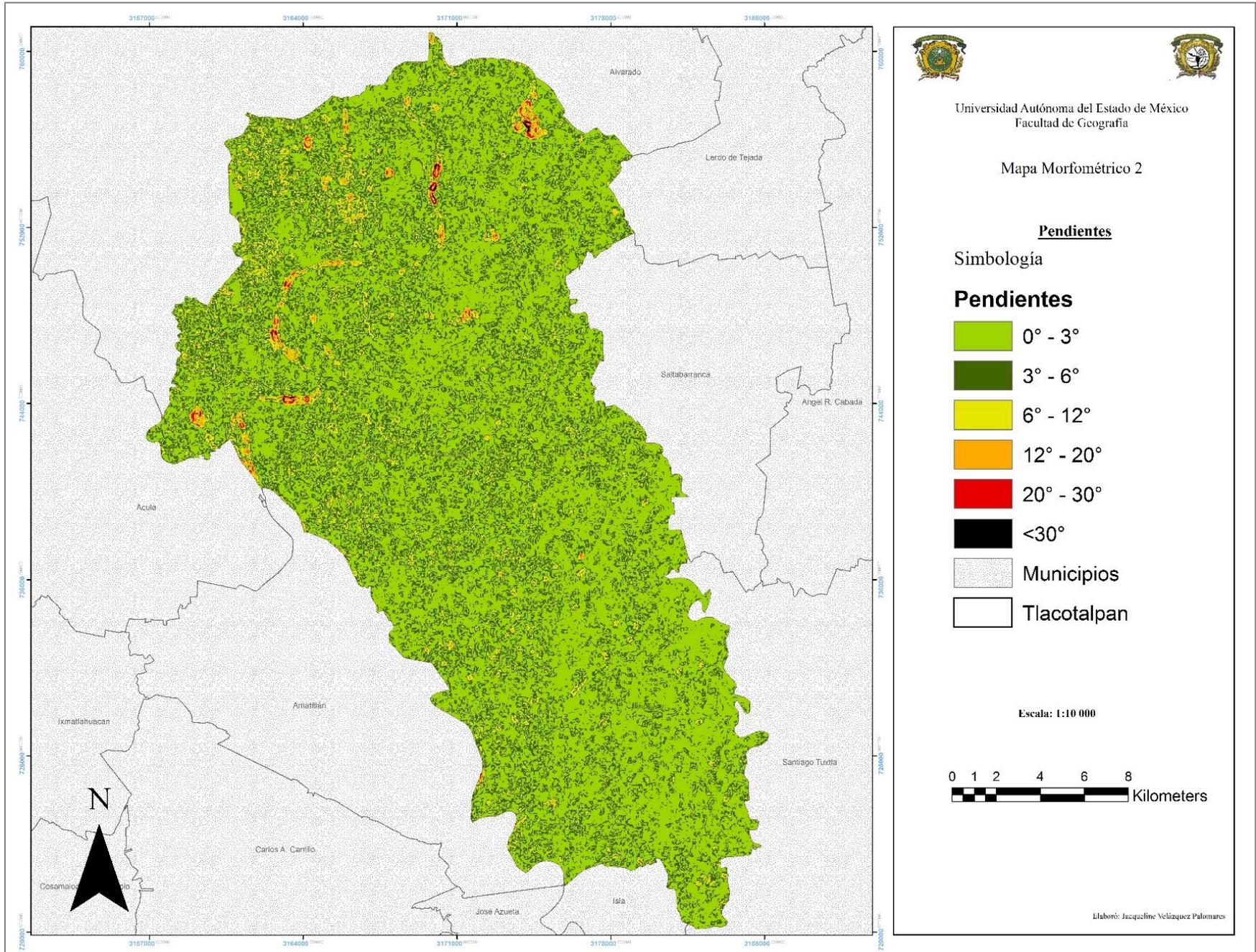
El rango de las pendientes se encuentra muy variado en todo el municipio, no hay zona o porción en donde sea destacable el descenso o la inclinación.

Cabe resaltar que la corriente principal que en este caso es el río Papaloapan, presenta pendientes que van de los 6° a los 12°, debido a la acumulación y arrastre de sedimentos que el río trae de cuenca arriba y a la sinuosidad de los meandros del mismo. Mientras más sinuoso este el cauce del río mayor depósito y/o acumulación, y por lo tanto mayor pendiente. Como se muestra en el mapa de

pendientes que hace referencia a puntos denotados con color rojo y que van de los 12° hasta los 25° en promedio.

En la parte noroeste del mapa se puede visualizar en mayor concentración el tono amarillo con una pendiente que va de los 6° a los 12°, pudiendo condicionarse por un relieve semiplano por acumulación. Existen zonas que van de los 0° debido a este cambio de pendiente se generan procesos de acumulación y deslizamiento lento.

En la zona noreste se presenta el mayor ángulo de inclinación, cuyas pendientes varían de los 6° a más de 30°, identificando una zona con procesos de erosión y acumulación.



Mapa ordenes de drenaje

Los canales de primer orden son los que no reciben tributario alguno desde su formación. Cuando dos canales de primer orden se juntan forman un canal de segundo orden. Dos canales de segundo orden se juntan para formar un tercer orden y así sucesivamente. Cuando mayor sea la densidad de drenaje el número de órdenes de los canales también será mayor. El número de órdenes sirve como un indicador de las diferencias de drenaje entre cuencas y la forma en que ha evolucionado el relieve (Córdova, 1988).

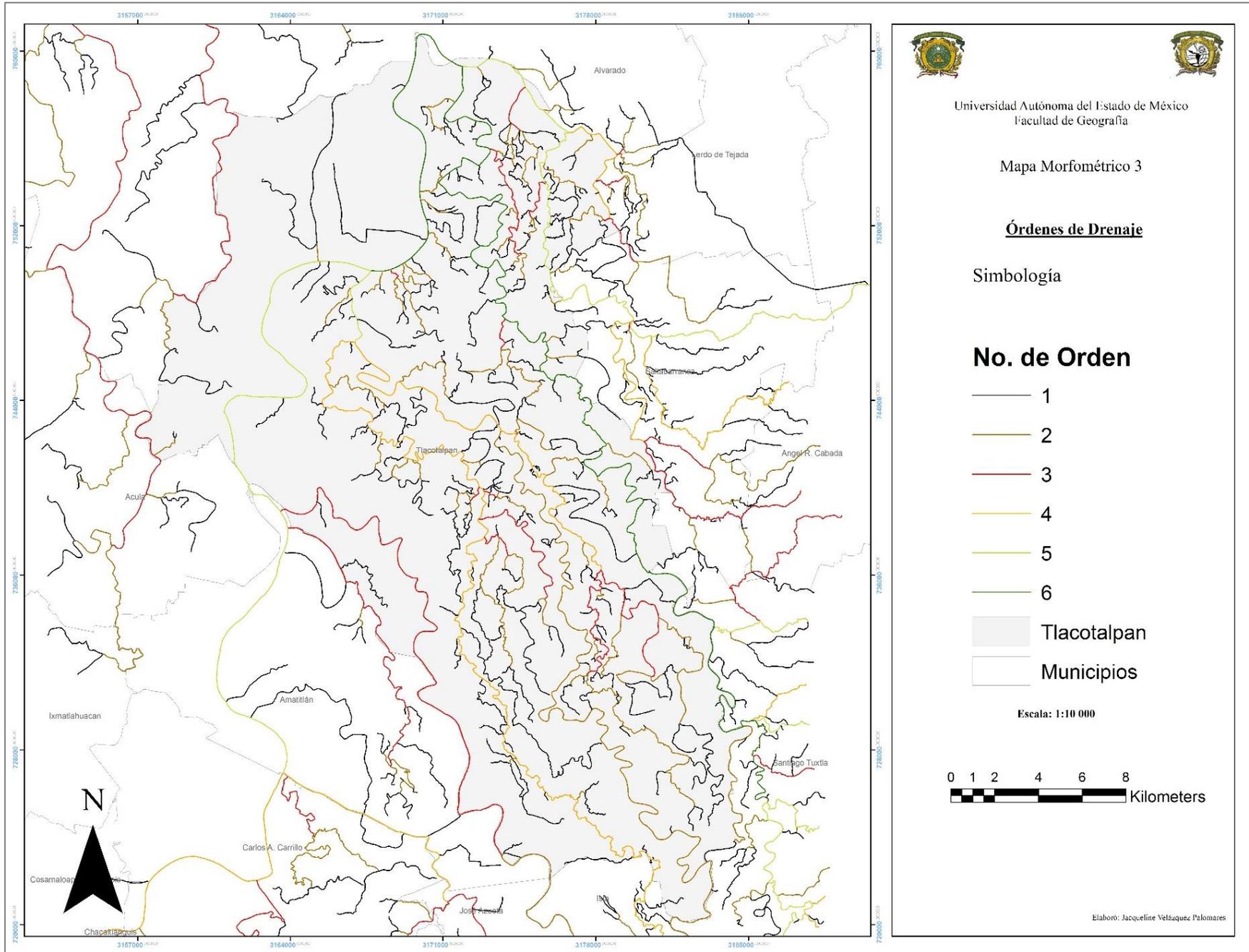
El municipio de Tlacotalpan, pertenece a la región hidrológica de la cuenca baja del Papaloapan. Las principales corrientes que fluyen por el municipio son: El río Papaloapan, el río Tesechoacán y el río San Juan, que irrigan prácticamente todas las tierras del municipio y en épocas de lluvias le dan vida a los diferentes cuerpos lagunares que abundan en el territorio municipal, como son las lagunas del Conejo, el Embarcadero, el Pájaro, Guayabo, la Cerca, la Lagartera, las Cañas, los Amates, Martintela, Platanar entre otras (Medina, 2007).

Análisis e Interpretación

Comienza un lento descenso hacia el mar a través de las llanuras del Sotavento. Se convierte en un río de comportamiento viejo, con abundantes meandros, en los últimos 430 km solo dispone de 90 metros para descender al golfo de México. Strahler (1997), define al meandro como una curva descrita por el curso de un río, cuya sinuosidad es pronunciada. Se forman con mayor facilidad en los ríos de las llanuras aluviales con pendiente muy escasa, dado que los sedimentos suelen depositarse en la parte convexa del meandro, mientras que en la cóncava, debido a la fuerza centrífuga, predomina la erosión y el retroceso de la orilla.

En cuenca alta del Papaloapan los ríos son de comportamiento "joven", de montaña; con rápidos y desfiladeros. La baja cuenca con su lento cauce provoca inundaciones. Para prevenir inundaciones catastróficas se han construido dos grandes presas (Miguel Alemán y Cerro De Oro) en sus afluentes: Tonto y Santo

Domingo. Los embalses se comunican y forman el lago artificial más grande de México (DPCM, 2014).



Mapa Densidad de Disección

En este mapa se representa la cantidad de corrientes existentes en un espacio determinado (1km^2), para cuantificar la acción sobre el relieve (erosión). Se expresa de manera visual las corrientes perennes e intermitentes por unidad de superficie del territorio, obteniendo procesos exógenos y endógenos, así como la clasificación de las estructuras con base en la antigüedad de las geoformas y la debilidad provocada por fallas y fracturas.

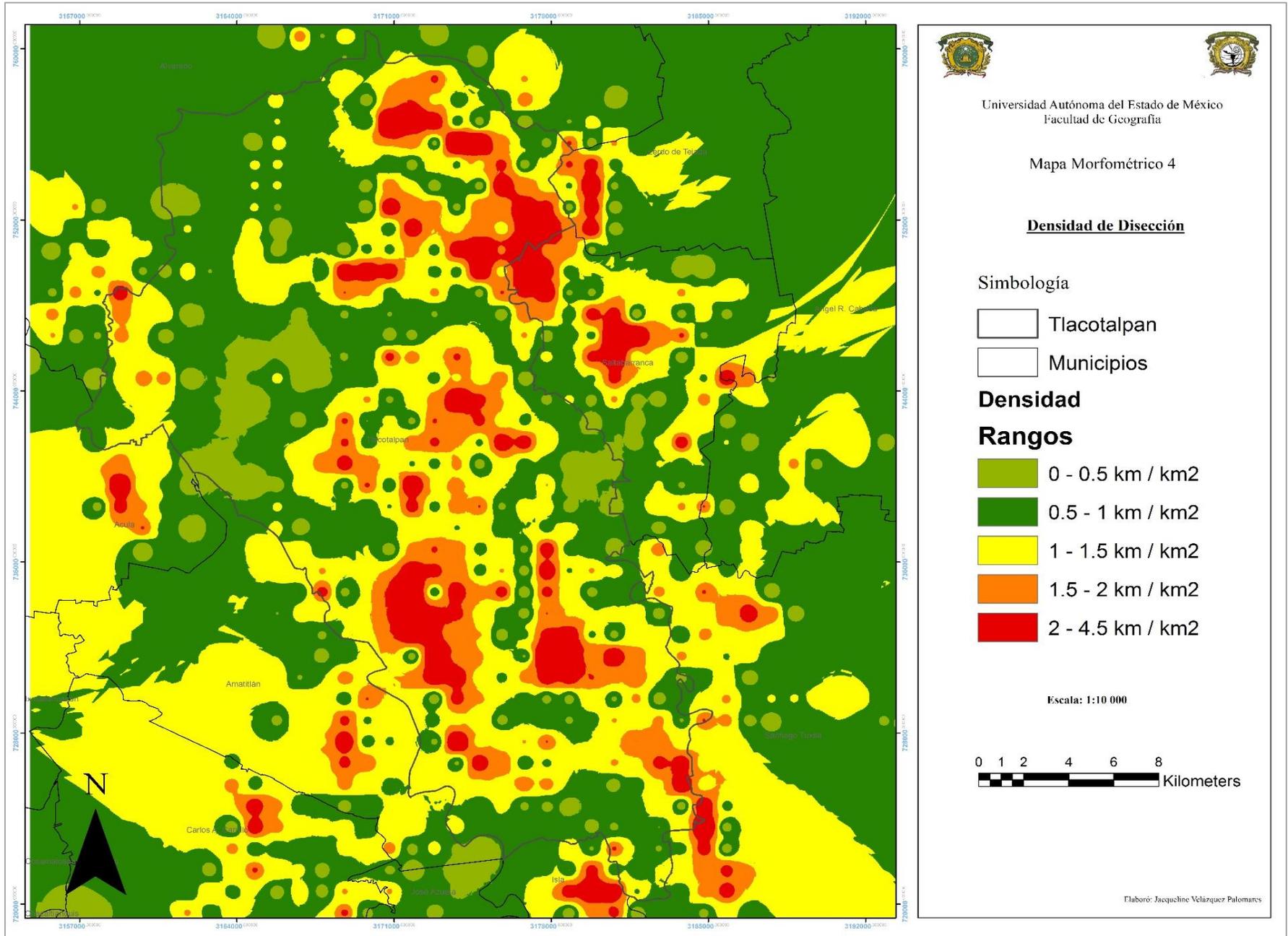
Análisis e Interpretación.

En esta carta resaltan los siguientes aspectos:

El mapa de densidad de disección mostro la evidencia de procesos erosivos y acumulativos, como por ejemplo en la parte central del mapa partiendo de norte a sur, se puede observar un proceso de erosión puntual pero a la vez lineal por la forma en el que este se presenta. Esto se interpreta como como la influencia que ejercen las corrientes en esta zona.

De forma general, en el mapa se aprecia que no existe una uniformidad en cuanto a la disección que se elaboró, ya que presentan en la mayoría de las zonas baja erosión o media.

Debido a que es un municipio de geoforma plana expone una baja erosión excluyendo la parte central y algunas zonas puntuales.



Capítulo III

Estimación General del Riesgo por Inundación en el Municipio de Tlacotalpan, Veracruz

Estimación General de Riesgo por inundación.

Dicho en capítulos anteriores, Veracruz es un territorio que se extiende de noroeste a sureste al centro del Golfo de México, sobre 745 kilómetros de litoral costero, con un escurrimiento del 30% del agua superficial del país. Gran parte de Veracruz está constituido por planicies, sin embargo, atraviesa la sierra madre oriental (Atlas de Riesgo, 2012),

Todo lo anterior; ubicación, fisiografía, características geográficas y económicas, hace de Veracruz un Estado vulnerable a distintos fenómenos naturales como: sismos, heladas, sequías, incendios forestales, colapso de laderas pero sobre todo, las inundaciones.

Enfocado a inundaciones, el riesgo se compone por tres factores prioritarios: el peligro, el grado de exposición y la vulnerabilidad de los bienes expuestos. Así, la probabilidad de que un peligro se materialice en algún daño a la comunidad depende del grado de exposición, es decir, la cercanía o distancia que guarde la población, los bienes materiales o la infraestructura.

El enfoque de este capítulo implica evaluar que tan expuesta esta la población y los bienes físicos del municipio de Tlacotalpan, para poder diagnosticar su vulnerabilidad, y poder determinar la forma en que este evento llamado "inundación", incide en los asentamientos humanos, en la infraestructura y el entorno.

Se denomina inundación, al flujo o a la invasión de agua por exceso de escurrimientos superficiales o por el encharcamiento o acumulación natural en terrenos planos, en llanuras de desborde fluvial, lacustres o costeras, ocasionado por falta o insuficiencia de drenaje tanto natural como artificial. Se caracteriza por la sumersión bajo el agua de una zona terrestre o emergida, que normalmente no está cubierta por la misma, debido a un cambio relativamente rápido del nivel de la masa de agua en cuestión (CENAPRED, 2004).

La inundación depende de la intensidad de las lluvias, de su distribución en el espacio y tiempo, del tamaño y las características del suelo y del drenaje natural o artificial de las cuencas hidrológicas afectadas.

Las inundaciones pueden clasificarse por su origen en pluviales y lacustres. Las pluviales se deben a la acumulación de la precipitación (lluvia, granizo y nieve, principalmente), que se concentra en terrenos o zonas de topografía sensiblemente plana o en áreas urbanas con insuficiencia o carencia de drenaje. Por otro lado, las lacustres, se originan en los lagos o lagunas, por el incremento de sus niveles y son peligrosas para los asentamientos humanos cercanos a las áreas de embalse.

Las obras de control como la presa Lic. Miguel de la Madrid y Lic. Miguel Alemán Valdez, fueron construidas con la finalidad de reducir las inundaciones en la cuenca baja del Papaloapan ya que eran frecuentes, sin embargo esto sucedió tiempo después de que en 1944 y 1969, se presentaran las crecidas más recordadas por la población.

Año	Superficie Inundada
1944	470,000
1958	195,000
1969	340,000
1975	162,000
1980	205,000
1981	210,000

Tabla 1 Tabla 1. Principales inundaciones en la cuenca del Papaloapan.

Son varios los ríos que inundan el Municipio de Tlacotalpan, uno de ellos es el río Papaloapan, la Comisión Nacional del Agua, ha determinado una serie de escalas críticas en las distintas estaciones hidrométricas para alertar oportunamente a las comunidades que se encuentran asentadas río abajo y que son las siguientes:

Estación Hidrométrica	Escala Crítica	Afectaciones
Chacaltianguis	7.74	Localidades afectadas aguas abajo: Col. del Mpio. de Chacaltianguis, Colonia Alberto Tejeda, Paso Anchoa Amatepec, Venustiano Carranza, Rancho Nuevo, Zopelican, Playa Jolote, El Corte, Dos Bocas, Nuevo Paraíso, Boca del Río, San Miguel, Xochitl, Colonias de Tlacotalpan, La Barraca, Mano Perdida, Escolleras, Paso Nacional, Buena Vista, Conejo y Tunilla.
Tlacotalpan	1.69	Efectos de la inundación en las localidades del Mpio de Tacotalpan: La Barranca, El Volantín, La Providencia, Santa Fe, El Paraíso, Rancho Nuevo, Zopélican, El Corte, Dos Bocas y escala de prevención para el Mpio. de Alvarado.



Ilustración 3. Fotografía histórica de la inundación de Tlacotalpan Veracruz en septiembre de 1944, debido al incremento de nivel del río Papaloapan. Al fondo se ve la iglesia de San Miguel (Veracruz Antiguo, 2010)

Otro de los varios ríos que inundan las comunidades de Tlacotalpan es el río San Juan, cuya escala crítica se muestra en la tabla siguiente:

Estación Hidrométrica	Escala Crítica	Afectaciones
La Ceibilla	9.96	Localidades afectadas aguas abajo: La Ceibilla, San Simón, Guasimal, Las Margaritas, La Cerca, El Pretil, La Isletilla, Casas Viejas, Santa Julia, Santa Rosalía, El Marqués, Boca del Barco, Bodeguillas, Fco. J. Moreno, El Homero, La Corriente, La Barranca, El Jobo, Santa Rita, La Mulata, La Consolación, Buena Vista, Colonias del Mpio. de Tlacotalpan, El Macuile, Boca de la Sierra, Mirador y Cerro Grande.

La gran cantidad de ríos y lagunas existentes en el Municipio de Tlacotalpan y en general en la Cuenca del Papaloapan aunado a la condición plana del terreno permite que estas zonas sean inundadas con mucha facilidad, incluso, de forma permanente, existen zonas inundadas además de la gran cantidad de pantanos.

Además, en la Cabecera Municipal se afectan distintas colonias por el crecimiento en el nivel de los ríos Papaloapan y río Blanco, aun cuando la probabilidad de esta fue disminuida tras la construcción de presas que permitieron captar más el agua río arriba; sin embargo, fue posible notar que para el asentamiento de viviendas en muchos de los casos es necesario rellenar con tierra en temporada de secas o aumentar la altura de la casa (Véase ilustración 2) o del predio donde se desea construir, para que exista una pendiente y se puede distribuir el flujo fácilmente, o bien la vivienda no sea afectada por acumulación de agua.



Ilustración 4. Ejemplo de construcción a orillas del río Papaloapan en el municipio de Tlacotalpan Veracruz

En la actualidad el crecimiento del número de viviendas y comercios en Tlacotalpan, se hace de tal forma que quien cuenta con el espacio, en la temporada libre de lluvias “rellena” su predio o bien opta por la construcción de un muro o muelle que disminuya la velocidad del cauce para sobre él construir su vivienda, esto no elimina el riesgo de inundación, sin embargo le permite contar con una vivienda ligeramente más alta.

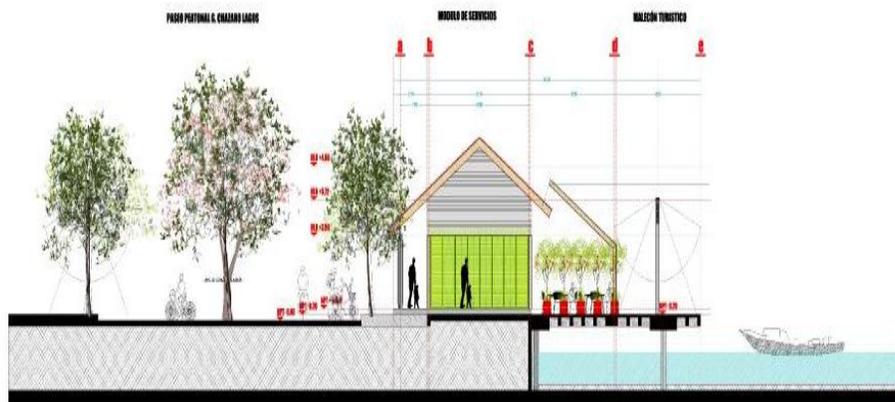


Ilustración 5. Forma de construcción de viviendas y comercios a orillas del río Papaloapan.

Zonas de Riesgo por inundación en Tlacotalpan Veracruz.

Las inundaciones que se presentan en el Municipio de Tlacotalpan, son las características de ríos de respuesta lenta; es decir, que en el caso de que se presentara lluvias extraordinarias por huracanes en el alto Papaloapan, es decir hacia el Estado de Oaxaca o en el caso de que exista un desfogue controlado de las presas, se cuenta, con hasta 72 horas de tiempo para tomar las medidas necesarias en caso de que sea necesario evacuar a la población con el objeto de minimizar los daños por esta inundación. Esto significa que el aumento en el nivel de agua en la llanura de inundación de la Cuenca del Papaloapan y específicamente en el Municipio de Tlacotalpan es muy lento.

En la margen izquierda del río Papaloapan es una zona de riesgo mitigable con 28 localidades asentadas, donde la probabilidad de que se presenten inundaciones es menor a la margen derecha siendo posible alertar oportunamente a la población asentada en dicho margen izquierdo así como poder disponer de sus muebles levantándolos del nivel de su casa para evitar que se dañen.



Ilustración 6. Fotografía aérea del Río Papaloapan, en el municipio de Tlacotalpan, vista para ángulo izquierdo y derecho, 2010.

La localidad de Tlacotalpan es considerada como la única zona urbana dentro del municipio, cuenta con 95 viviendas (habitadas y deshabitadas), que se encuentran en una zona de riesgo no mitigable (Véase Ilustración 4), pues se localizan en la orilla del río Papaloapan y la carretera federal 175 Alvarado-Tuxtepec, que son consideradas por el Ayuntamiento, como asentamientos irregulares.

Esta zona de riesgo no mitigable, es considerada así, porque no es factible económicamente proteger con alguna obra el peligro de inundación por desbordamiento de río, debiendo ser reubicadas.

La Ilustración 5 muestra las construcciones que se localizan a orillas del río Papaloapan (línea punteada color azul), y que de forma irregular han permanecido ahí por la geo localización de los comercios y servicios que en esta zona se ofrecen.



Ilustración 7. Croquis de la zona con mayor riesgo por inundación dentro de la localidad urbana de Tlacotalpan Veracruz.

Por otra parte, de acuerdo a distintas personas entrevistadas, la problemática de las inundaciones pluviales en la cabecera municipal, se debe a las fallas en el sistema de drenaje, tanto pluvial, como sanitario. Debido a que, tanto la cabecera municipal, como el resto del Municipio cuenta con una pendiente que no supera el uno por ciento de pendiente, cuenta con una serie de canales que mayormente destinan sus aguas al río Papaloapan o las orillas de dicha cabecera.



Ilustración 8. Áreas de inundación en la zona urbana por precipitación, por fallas en el drenaje.

Continuando con lo anterior, se debe considerar como un fenómeno no natural y de acuerdo al Glosario de Términos de Protección Civil a la inundación pluvial, produciéndose por la acumulación de agua de lluvia, nieve o granizo en áreas de

topografía plana, que normalmente se encuentran secas, pero que han llegado a su máximo grado de infiltración y que poseen insuficientes sistemas de drenaje natural o artificial.

Este caso se presenta en la Ciudad de Tlacotalpan, sin que necesariamente haya el desbordamiento de cualquiera de los ríos que la rodean y estas son algunas de las colonias que se inundan:

Calle o Colonia	Número de Familias
Colonia San Francisco Los Cocos	29
Colonia Cuauhtémoc	6
Colonia La Popular	15
Colonia La Cruz Verde	20
Colonia Los Maestros	32
Colonia Nueva	25
Calle Díaz Mirón	15
Calle José María Iglesias	35
Calle Puerto de Alvarado	42
Avenida Cayetano Rodríguez Beltrán	15
Avenida Bernardino Aguirre	32
Calle Guillermo Pous Lina	53
Avenida Prof. Avelino Bolaño Palacios	42
Avenida Venustiano Carranza	20
Calle Lerdo de Tejada	18
Calle Francisco Mina	22
Callejón Gutiérrez Zamora	10
Colonia La Alameda	26
Callejón Guillermo Prieto	15
Av. 5 de Mayo	52

Los canales o caños del drenaje se saturan por la acumulación de lluvia mismos que no son diseñados para captar la precipitación, ocasionando el desborde del mismo drenaje por las zonas bajas de la cabecera encadenando situaciones de insalubridad pues no solo emerge el agua si no también heces fecales, basura y por lo tanto malos olores, con lo que se puede provocar contaminación al agua y al suelo, pues finalmente toda esta agua queda en calles e incluso en las viviendas y sus patios.



Ilustración 9. Inundación Pluvial de la localidad urbana de Tlacotalpan (parte trasera de la presidencia municipal)



Ilustración 10. Áreas de inundación en la zona urbana por precipitación, debidas en gran parte a parte a fallas en el sistema de drenaje.

Conclusiones e Interpretación:

La condición plana del terreno relacionado con la nula pendiente, aunado a la gran cantidad de ríos y lagunas existentes dentro del municipio permite que las zonas sean inundadas con facilidad, e incluso permanentes como son los pantanos.

Para reducir las inundaciones en la cuenca baja del Papaloapan se crearon obras de control como la presa Lic. Miguel de la Madrid y Lic. Miguel Alemán Valdez. Los principales ríos que inundan al municipio son el río Papaloapan y el río San Juan, a orillas de estos ríos se localizan 95 viviendas (habitadas y deshabitadas), que se encuentran en una zona de riesgo no mitigable. En las viviendas en muchos de los casos es necesario rellenar con tierra en temporada de secas o aumentar la altura de la o del predio donde se desea construir, para que exista una pendiente y se puede distribuir el flujo fácilmente, o bien la vivienda no sea afectada por acumulación de agua.

Las inundaciones que se presentan en el Municipio de Tlacotalpan, son de respuesta lenta, en el caso de que se presentara lluvias extraordinarias por huracanes en el alto Papaloapan, se cuenta con hasta 72 horas de tiempo para tomar las medidas necesarias en caso de que sea necesario evacuar a la población con el objeto de minimizar los daños por esta inundación. Esto significa que el aumento en el nivel de agua en la llanura de inundación de la Cuenca del Papaloapan y específicamente en el Municipio de Tlacotalpan es muy lento.

Por otra parte se presentan inundaciones pluviales en la localidad urbana por fallas en el sistema de drenaje, cuenta con una serie de canales que mayormente destinan sus aguas al río Papaloapan o las orillas de dicha cabecera, los canales o caños del drenaje se saturan por la acumulación de lluvia mismos que no son diseñados para captar la precipitación, ocasionando el desborde del mismo drenaje por las zonas bajas de la cabecera encadenando situaciones de insalubridad

La problemática que se pudo detectar por las lluvias en la cabecera que ocasiona que las viviendas se inunden es la siguiente:

1. El drenaje sanitario se encuentra saturado de basura, arenas y lodos.

2. El cárcamo que funciona para todo el drenaje de la cabecera municipal cuenta con una bomba y no abastece o permite que su depósito de 14 metros de profundidad se vacíe y sea enviado a la laguna de oxidación.

3. La laguna de oxidación se encuentra a su máxima capacidad con hierbas y arbustos.

4. La tubería de alivio que lleva el drenaje del cárcamo a la laguna de oxidación tiene fugas a lo largo de su recorrido de aproximadamente 2.5 kilómetros.

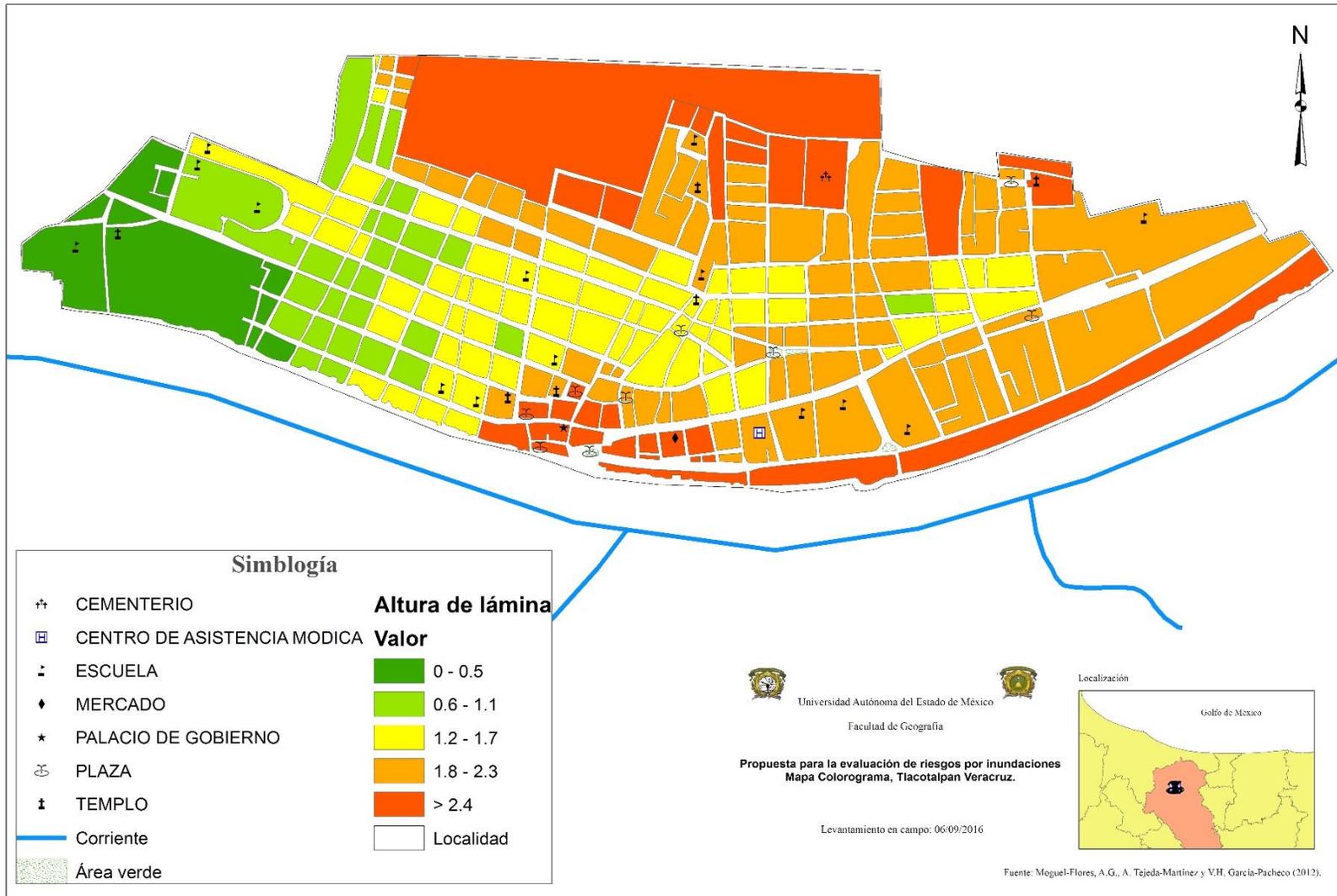
Para evaluar el riesgo de inundación en la localidad urbana del municipio de Tlacotalpan, se empleó la propuesta de crear un mapa por manzanas que refieren a la lámina de inundación o altura de inundación de Agosto del año 2010, esto recabado en trabajo de campo a través de las encuestas empleadas.

Se capturó la información correspondiente a la fecha, nombres de las calles y avenidas afectadas en cada caso de inundación, así como los daños materiales que se registraron. A través del Mapa Digital de México V5.0 (INEGI 2011) el análisis se realizó para las manzanas urbanas del municipio mediante un colorograma. Se establecieron cinco categorías: muy leve, leve, moderada, fuerte y muy fuerte. Los criterios de clasificación están descritos en la tabla 1.

Color	Criterio	Altura de la Lámina
	Muy fuerte	< 2.4
	Fuerte	1.8 – 2.3
	Moderada	1.2 – 1.7
	Leve	0.6 – 1.1
	Muy Leve	0.0 – 0.5

Tabla. Rangos del mapa de Riesgo por Manzana del municipio de Tlacotalpan (Colorograma)

Evaluación de riesgo de inundación por manzana, Tlacotalpan Veracruz.



Vulnerabilidad Social del Municipio ante el riesgo por inundación en Tlacotalpan.

Para determinar la vulnerabilidad del municipio, fue necesario emplear la metodología generada por Norlang García Arróliga, Rafael Marín Cambranis y Karla Méndez Estrada del Centro Nacional de Prevención de Desastres denominada Estimación de la Vulnerabilidad Social incluida en la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos

Este documento trata de dar una aproximación al tema de la cuantificación de la vulnerabilidad social asociada a desastres desde una perspectiva cualitativa. Dicha metodología no es aún la versión final y trata de aportar elementos que se deben de considerar para el estudio de la vulnerabilidad de la población, aunada a la capacidad de prevención y respuesta ante diversas contingencias y a su percepción local del riesgo.

La capacidad de prevención y respuesta se refiere a la preparación antes y después de un evento por parte de las autoridades y de la población. Por su parte, la percepción local de riesgo es el imaginario colectivo que tiene la población acerca de los peligros y las vulnerabilidades que existen en su comunidad (García y Marín, 2004).

El objetivo principal de estos cuestionarios: Cedula de capacidad de Prevención y Respuesta y Cedula de Percepción Social, es evaluar de forma general el grado en el que el municipio se encuentra capacitado para incorporar conductas preventivas y ejecutar tareas para la atención de la emergencia. La importancia radica en el conocimiento de los recursos, programas y planes con los que dispone la Unidad de Protección Civil Municipal en caso de una emergencia, por lo que está dirigido al responsable de ésta.

Por consiguiente, para el cuestionario de Percepción Social se realizaron 60 entrevistas a personas mayores de 20 años de edad con el fin de obtener resultados más certeros y concisos al objetivo.

En el caso de la Cédula de capacidad de Prevención y Respuesta, fue ejecutado un solo cuestionario el día seis de septiembre del año dos mil dieciséis, en las instalaciones de Protección Civil que se localizan dentro de las inmediaciones de la Presidencia Municipal de Tlacotalpan Veracruz.

A continuación se presentan los datos obtenidos de ambas Células:

Cedula de capacidad de Prevención y Respuesta

Las respuestas de este cuestionario son visibles y responden al siguiente color: 

No.	Pregunta	Si	No
1	¿El municipio cuenta con una unidad de protección civil o con algún comité u organización comunitaria de gestión del riesgo que maneje la prevención, mitigación, preparación y la respuesta?	0	1
2	¿Cuenta con un plan de emergencia?	0	1
3	¿Cuenta con un consejo municipal el cual debe de estar integrado por diferentes dependencias de gobierno para saber qué papel desempeñaría cada una en caso de emergencia?	0	1
4	¿Conoce los mecanismos para acceder al Fondo Nacional de Desastres?	0	1
5	¿Cuenta con algún tipo de alerta?	0	1
6	¿Cuenta con canales de comunicación (organización a través de los cuáles se pueda coordinar con otras instituciones, áreas o personas en caso de una emergencia?	0	1
7	¿Las instituciones de salud municipales cuentan con programas de atención a la población (trabajo social, psicológico, vigilancia epidemiológica en caso de desastre?	0	1
8	¿Tiene establecidas las posibles rutas de evacuación y acceso (caminos y carreteras) en caso de un desastre?	0	1
9	¿Tiene establecidos los sitios que pueden fungir como helipuertos?	0	1
10	¿Tiene ubicados los sitios que pueden funcionar como refugios temporales en caso de un desastre?	0	1
11	¿Tiene establecido un stock de alimentos, cobertores, colchonetas y pacas de lámina de cartón para casos de emergencia?	0	1

12	¿Tiene el vínculo con centros de asistencia social (DIF, DINCOSA, LICONSA, etc.) para la operación de los albergues y distribución de alimentos, cobertores, etc.?	0	1
13	¿Dispone de convenios con iniciativa privada en caso de desastre?	0	1
14	¿Se llevan a cabo simulacros en las distintas instituciones (escuelas, centros de salud, etc.) sobre qué hacer en caso de una emergencia?	0	1
15	¿Se aplica algún programa de créditos para la reconstrucción de viviendas afectadas en caso de desastre?	0	1
Total		6	

Resultado Final de la Célula Capacidad de Prevención y Respuesta

Rangos con respecto a la suma de respuestas	Capacidad de prevención y respuesta	Valor asignado según condición	Calificación
De 0 a 3	Muy alta	0.0	0.25 (6.0)
De 3.1 a 6.0	Alta	0.25	
De 6.1 a 9	Media	0.50	
De 9.1 a 12.0	Baja	0.75	
12.1 o más	Muy baja	1.0	

Interpretación Prevención y Respuesta:

El municipio cuenta con una unidad de protección civil, el maneja la prevención, mitigación, preparación y la respuesta ante el riesgo, desafortunadamente la dependencia no tiene un documento, o conocimiento de un plan de emergencia ni los mecanismos para acceder al Fondo Nacional de Desastres. A rasgos generales tiene establecidas las posibles rutas de evacuación y acceso así como los sitios que pueden funcionar como refugios temporales en caso de un desastre

La localidad urbana cuenta con un sistema de alerta y con canales de comunicación con otras instituciones en caso de emergencia, sin embargo, las instituciones de salud municipales no cuentan con programas de atención a la población

Existe un programa de créditos para la reconstrucción de viviendas afectadas en caso de desastre pero no dispone de convenios con iniciativa privada, obteniendo una capacidad de prevención alta de parte de Protección Civil del municipio

Cédula de Percepción Local

Las respuestas se encuentran visibles en la sección de total con el respectivo valor que le corresponde.

No.	Pregunta	Valores			Total
		A	B	C	
1	¿Cuántos tipos de fuentes de peligro identifica en su localidad?	de 1 a 5	de 6 a 13	más de 13	A:1.0
		1.0	0.5	0.0	
2	¿Recuerda o sabe si ha habido emergencias o situaciones de desastre asociada a alguna de éstas amenazas en los últimos 30 años	Si	No	No sé	A: 0.0
		0.0	1.0	0.5	
3	¿Considera que su vivienda está localizada en un área susceptible de amenazas por inundación zona inundable, etc.)?	Si	No	No sé	A:0.0
		0.0	1.0	0.5	
4	En caso que recuerde algún desastre, los daños que se presentaron en su comunidad fueron:	Ninguna fatalidad. Daños sólo en vivienda e infraestructura	Pocas personas fallecidas, daños en infraestructura y vivienda	Muchas personas fallecidas, daños en muchas vivienda y en infraestructura	B:0.5
		0.25	0.5	1.0	
5	¿Ha sufrido la pérdida de algún bien a causa de este fenómeno natural?	Si	No	No sé	A:0.0
		0.0	1.0	0.5	

6	¿Sabe si en su comunidad se han construido obras que ayuden a disminuir los efectos de fenómenos naturales tales como bordos, presas, terrazas, muros de contención, pozos, sistemas de drenaje, rompevientos, rompeolas, etc.?	Si	No	No sé	A:0.0
		0.0	1.0	0.5	
7	¿En los centros educativos de su localidad o municipio se enseñan temas acerca de las consecuencias que trae consigo un fenómeno natural y/o químico?	Si	No	No sé	A:0.0
		0.0	1.0	0.5	
8	¿Alguna vez en su comunidad se han llevado a cabo campañas de información acerca de los peligros existentes en ella?	Si	No	No sé	A:0.0
		0.0	1.0	0.5	
9	¿Ha participado en algún simulacro en alguna ocasión, y/o cuenta con su programa familiar de Protección Civil?	Si	No	No sé	B:1.0
		0.0	1.0	0.5	
10	¿Sabe a quién o a dónde acudir en caso de una emergencia?	Si	No	No sé	A:0.0
		0.0	1.0	0.5	
11	¿Sabe si existe en su comunidad un sistema de alertamiento para dar aviso a la población sobre alguna emergencia?	Si	No		B:1.0
		0	1		
12	¿De acuerdo a experiencias anteriores, su comunidad está lista para afrontar una situación de desastre tomando en cuenta las labores de prevención?	Si	No	No sé	B:1.0
		0.0	1.0	0.5	

13	En los últimos años ¿qué tan frecuentemente se ha quedado aislada la comunidad debido a la interrupción de las vías de acceso por más de dos días debido a algún tipo de contingencia?	Ninguna o una vez	De 2 a 5 veces	Más de 5 veces	B:0.5
		0.0	0.5	1.0	
14	¿Considera importante mantenerse informado acerca de los peligros en su comunidad?	Si	No	No sé	A:0.0
		0.0	1.0	0.5	
15	¿Sabe dónde está ubicada y que función desempeña la unidad de protección civil?	Sé dónde se encuentra y sé sus funciones	No sé dónde se encuentra y no sé qué hace	Sé qué hace pero no dónde se encuentra	B:1.0
		0.0	1.0	0.5	
16	¿Considera que tiene la información necesaria para enfrentar una emergencia?	Si	No	No sé	A:0.0
		0.0	1.0	0.5	
17	En caso de haber estado en una situación de emergencia cómo se enteró de las medidas que debía tomar	No se enteró	Medios impresos	Televisión o radio	C:0.0
		1.0	0.5	0.0	
Total					6.0

Resultado Final para la Cédula de Percepción Local

Rangos con respecto a la suma de respuestas	Capacidad de prevención y respuesta	Valor asignado según condición	Calificación
De 0 a 4	Muy alta	0.0	0.25 (6.0)
De 4.1 a 7.25	Alta	0.25	
De 7.26 a 10.50	Media	0.50	
De 10.51 a 13.75	Baja	0.75	
13.76 o más	Muy baja	1.0	

Interpretación Percepción Local:

La población del municipio de Tlacotalpan considera a la inundación como el principal peligro que afecta su bienestar, economía y patrimonio. Asocian el desastre con las inundaciones de agosto y septiembre del año 2010 donde hubo personas fallecidas, daños en la infraestructura y vivienda

Los asentamientos humanos más vulnerables y propensos a inundarse y sufrir pérdidas de consideración, son los que se encuentran a orillas del río Papaloapan, sin embargo pobladores afirman que aunque sus viviendas no estén acentuados en esa zona, se ven afectados por la saturación del drenaje provocando inundación en sus predios debido a la nula pendiente.

La mayoría de los pobladores ha sufrido pérdidas a causa de este fenómeno y aunque se han realizado obras como bordos, presas, terrazas, muros de contención, pozos, sistemas de drenaje no han sido suficientes para mitigar el riesgo.

Siguiendo con las obras de mitigación el municipio también ha referido este tema en los centros educativos con campañas de información para establecer las consecuencias que trae consigo este fenómeno, pero no se ha involucrado en la organización de un simulacro o con el apoyo de un programa familiar de Protección Civil.

En general, la sociedad sabe a dónde acudir en caso de emergencia aunque no exista un sistema de alertamiento para dar aviso a la población. Aunado a esto, y en base a experiencias, la comunidad no se encuentra lista para afrontar esta misma situación otra vez pues dicen que en los últimos diez años se han quedado aislados más de dos veces. Por consiguiente se tiene que la población se encuentra con la capacidad de prevención y respuesta alta.

Análisis del riesgo por inundación a través del análisis multifactorial, multinivel y multitemporal

Las pérdidas humanas y económicas relacionadas con los eventos climáticos, hoy en día son alarmantes y de gran magnitud para el mundo. Es importante distinguir que parte de este aumento de pérdidas relacionado con el incremento del número de eventos extremos, se debe al aumento de la vulnerabilidad social ante tales circunstancias (Baró y Díaz, 2012).

Dicho en el marco conceptual, las inundaciones se producen en zonas llanas, denominadas así, por la afectación a poblaciones causando pérdidas humanas o bien a recursos que afectan la economía de una población. En el capítulo 1 se realizó la morfometría, con el objeto de establecer correspondencias entre la geometría del terreno y los procesos que la originan para determinar la pendiente y así identificar las zonas propensas a inundarse. A partir de este análisis damos paso a la valoración cualitativa y cuantitativa de la ecuación del riesgo, para analizar las variables a través de los antecedentes y atributos que integran a la ecuación propuesta por Espinosa y Hernández 2012.

La importancia de esta investigación, radica en el análisis del riesgo por inundación basado en la Ecuación General del Riesgo (EGR), que se asocia al bosquejo histórico relacionado con la ocurrencia de desastres, integrando variables que competen al estudio del territorio y los procesos que en este ocurren.

El riesgo desde la propuesta conceptual y aplicada debe ser entendido como un proceso integral que compone variables territoriales, sociales, económicas, políticas y éticas entre otras (Espinosa y Hernández 2012), que abarcan cinco funciones específicas que son representadas a través de la Ecuación General del Riesgo propuesta:

EGR	=	Función del geosistem a perturbad or	+	Función de la component e humana	+	Función del Territorio	+	Función sistémica	+	Función de la gestión territorial
-----	---	---	---	---	---	------------------------------	---	----------------------	---	--

Espinosa y Hernández 2012 caracterizan la estructura de la ecuación por:

1. El origen, evolución, dinámica y distribución espacial de los procesos generadores del riesgo; y de la relación que se establece con otros procesos que se asocian y encadenan con el primero; condición que provoca cambios en las condiciones “estables” de un lugar. A esta función se le ha denominado como el “Geosistema perturbador” acogiendo los principios elementales de la teoría sistémica y los conceptos establecidos por Palacio (1995:75).
2. El componente humano; el cual presenta elementos multinivelados que agrupan condiciones inherentes a la esencia y características que los hombres y las sociedades poseen; como es el pensamiento, la percepción, la preparación escolar, la educación, la estructura familiar y las condiciones generales de vida entre otras. A este componente algunos autores lo han llamado “vulnerabilidad”, sin embargo este término al generalizarse se ha transformado en una ambigüedad cualitativa.
3. La expresión territorial interviene en esta función de valoración cualitativa y cuantitativa de las superficies de afectación, los atributos y forma de transformación, transporte y acción de la materia y energía asociada con el geosistema perturbador y el grupo de procesos encadenados relacionados con este primero. En este caso, la valoración del espacio posee múltiples puntos de vista y connotaciones diversas a saber de la funcionalidad, la objetividad y la subjetividad paramétrica de quien analiza, describe y califica el valor del espacio geográfico, es por ello que a ésta se le llama “función del territorio”.
4. En el ámbito de la función sistémica el proceso de *feedback* se constituye como un factor que permite evaluar en cada función descrita, el proceso de evolución o involución que se desarrolla a través del tiempo. Conforme sea el comportamiento de las variables y la relación que existe entre éstas, la retroalimentación califica la mecánica positiva o negativa de las tendencias del sistema en estudio, forma los espirales de cambio (bucles) descritos por Fielberman (1984:15) y Pigeon (información personal, 2012); todo ello bajo

la perspectiva sistémica que integra razonamientos de equilibrio, entropía, negantropía, equifinalidad, holística, complejidad y caos. El *feedback* representa la capacidad para evaluar cada una de las variables que componen a un sistema en la cual se consideran aspectos relevantes de contexto en el tiempo de ocurrencia de un evento en un periodo temporal que representa etapas geológicas y/o históricas definidas de forma precisa

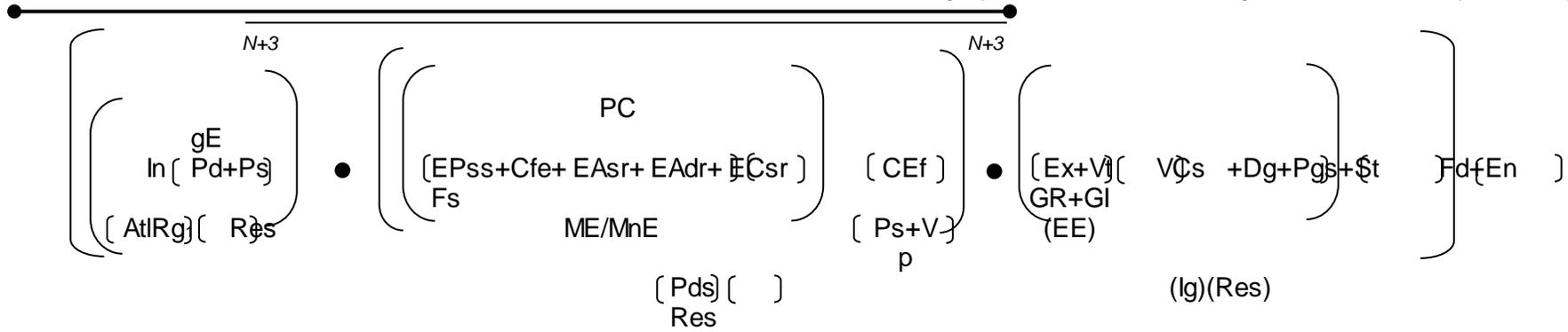
5. Por último; el grupo de procesos y acciones que se ciernen en torno a la comprensión cabal de las funciones antecedentes y la distribución espacial de éstas en el espacio geográfico, y al conjunto de trabajos encaminados hacia la toma consciente y razonada de decisiones.

La ecuación que Espinosa y Hernández 2012 se ha adecuado de acuerdo a esta investigación para fines tácticos, respetando el origen que plantean los autores pero agregando un reconocimiento a cada variable. La EGR **original de la obra Estudio del riesgo**. Análisis multifactorial, multinivel y multitemporal integra las variables en la siguiente fórmula donde se exponen los elementos funcionales que constituyen a cada una de las funciones definidas a saber:

$$\left(\begin{array}{c} n+3 \\ GP (R + H) \\ (CR_1) (Res) \end{array} \right) \cdot \left(\begin{array}{c} Pc \\ (Ps + Fe + Ac + As + Cs) (Fs) \\ MedE / MnE \\ (CR_2) (Res) \end{array} \right) \cdot \left(\begin{array}{c} n+3 \\ (Ex + Vt) (VCS) + Dg + Pgs + St \\ (EE) \\ (CR_3) (Res) \end{array} \right) \cdot \left(\begin{array}{c} n+3 \\ (Fd + En) \\ (GR + GI) \end{array} \right)$$

***En esta parte creo que lo debo pasar a digital la *formula* original y escribir sus partes no se si sus definiciones de cada variable también**

Las variables registradas para el análisis de riesgo por inundación de la ecuación se adecuaron de la siguiente manera:



In= inundación

AtIRg= Atlas de riesgo

Pd= Pendiente

Ps= Paisaje

gE= Geo sistema(s) encadenado(s)

n+3= Factor multivariable de análisis

Cr= Capacidad científica, tecnológica, social, gubernamental respuesta

EPss= entrevista percepción social y psicológica

Cfe= censo factor educación

EAsr= Entrevista aceptación social del riesgo

EAdr= Entrevista adaptación social del riesgo

ECsr= Entrevista comunicación social del riesgo

CEf= Censo estructura familiar

Pds= Plan de desarrollo municipal

Fs= Factores socioeconómicos y políticos

ME= Medidas estructurales

MnE= Medidas no estructurales

PC= Percepción científica

Res= Resiliencia

Pg= Percepción del orden de gobierno

Vp= Voluntad política

Ex= Exposición y susceptibilidad del territorio

Vt= Valor del territorio

VCs= Valor de construcción social

Dg= Diagnósis

Pgs= Prognósis

St= Síntesis

Ig = Informe de gobierno

EE= Espacios esenciales

Fd= Proceso de retroalimentación (feedback)

Fs= Funciones Sistémicas (Equifinalidad, entropía, negentropía, homeostasis)

GR= Gestión del riesgo

GI= Gestión integral de riesgo local de desastre

Las variables de la EGR se agrupan de la siguiente manera:

a. Factor multivariable de análisis potenciado (n+3)

Representa para cada caso, tiempo y espacio a una serie de condiciones que caracterizan el desarrollo de cada proceso (individual o en conjunto) relacionado con la forma con la cual se estudia y analiza.

b. Geosistema perturbador (GP)

Concepto introducido por (Palacio 1995, citado en Espinosa 2010:649), establecen diferentes fuentes de origen que generan cambios súbitos en el orden y dinámica del territorio. La ocurrencia de un cambio de esta naturaleza se gesta a través de la integración de un conjunto de variables que disparan al geosistema perturbador, agrupados por tipología, (1) astronómicos, (2) endógenos (3) procesos de remoción, (4) hidrometeorológicos y (5) antrópicos.

Tipología	Geosistema Perturbador
Astronómicos	Meteoritos y cometas
Endógenos	Erupciones volcánicas, sismos y tsunamis
Procesos de remoción	Avalanchas, corrientes de lodo, caída de rocas, deslizamientos
Hidrometeorológicos	El niño, heladas, huracanes, Icebergs y glaciares, inundaciones, niebla, ondas de calor, rayos, sequias,, smog, tormentas de hielo, tormentas de polvo, tormentas de arena, tornados y ventiscas
Antrópicos	Epidemias, Explosiones, hambruna, incendios

b1. Inundación (In) GP.

Según el fascículo de inundaciones de CENAPRED, la define como aquel evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura (CENAPRED 2014).

No.	Pregunta	Valores			Total
		A	B	C	
1	Medio construido dominante donde reside	Zona urbana alta densidad	Zona urbana baja densidad	Zona Rural	
		1.0	0.0	0.5	
2	¿Considera que su vivienda está localizada en un área susceptible de amenazas (que se encuentre en una ladera, en una zona sísmica, en una zona inundable, etc.)?	Si	No		A: 0.0
		0.5	1.0		
3	¿Desarrolla alguna actividad económica que dependa directamente de los recursos naturales que ofrece el municipio?	Si	No		
4	¿Considera las inundaciones como un riesgo importante en su municipio?				
5	¿Existe en el municipio riesgos más preocupantes que las inundaciones?				
6	<p>Por orden de importancia (1 a 5), determine las principales causas de las inundaciones en el municipio</p> <p> <input type="checkbox"/> Exceso de precipitación <input type="checkbox"/> Rotura de presas <input type="checkbox"/> Desbordamiento de ríos <input type="checkbox"/> Factor antrópico (actividades humanas) <input type="checkbox"/> Episodios de lluvias torrenciales (huracanes) </p>				
7	¿Cuáles son las localidades, sectores o puntos críticos de su municipio que resultan más afectados por las inundaciones?				

8	¿A partir de qué fuente o medio de comunicación ha tenido conocimiento del riesgo de inundación en su municipio?				
9	¿Existe un plan de emergencia en su municipio para el riesgo de inundación?				
10	¿Cómo ha sido la capacidad de respuesta o recuperación de la sociedad para afrontar una inundación?				
11	¿Dispone el municipio de estudios o informes que evalúen las pérdidas económicas ocasionadas por episodios de inundación?				
12	¿Qué tipo de medidas de adaptación al riesgo de inundación existen en su municipio?				
13	¿Considera la posibilidad de un incremento en la frecuencia de inundación?				

El municipio de Tlacotalpan Veracruz cuenta con 13,284 Habitantes (INEGI, 2010)

30 Veracruz de Ignacio de la Llave	178 Tlacotalpan	15-19 años	1,116	530	586
30 Veracruz de Ignacio de la Llave	178 Tlacotalpan	20-24 años	996	493	503
30 Veracruz de Ignacio de la Llave	178 Tlacotalpan	25-29 años	856	410	446
30 Veracruz de Ignacio de la Llave	178 Tlacotalpan	30-34 años	812	348	464
30 Veracruz de Ignacio de la Llave	178 Tlacotalpan	35-39 años	851	420	431
30 Veracruz de Ignacio de la Llave	178 Tlacotalpan	40-44 años	980	456	524
30 Veracruz de Ignacio de la Llave	178 Tlacotalpan	45-49 años	1,021	495	526
30 Veracruz de Ignacio de la Llave	178 Tlacotalpan	50-54 años	868	425	443
30 Veracruz de Ignacio de la Llave	178 Tlacotalpan	55-59 años	784	367	417
30 Veracruz de Ignacio de la Llave	178 Tlacotalpan	60-64 años	626	304	322

30 Veracruz de Ignacio de la Llave	178 Tlacotalpan	65-69 años	558	221	337
30 Veracruz de Ignacio de la Llave	178 Tlacotalpan	70-74 años	458	212	246
30 Veracruz de Ignacio de la Llave	178 Tlacotalpan	75 años y más	717	283	434
30 Veracruz de Ignacio de la Llave	178 Tlacotalpan	No especificado	24	12	12
			10,667		



ANEXOS

Material de Campo (Encuestas)

Objetivo de la encuesta: La información obtenida y los resultados de la misma se entregarán a las autoridades municipales y/o sociedad para medir la perspectiva frente a inundaciones.

Instrucciones: Para generalizar su respuesta se presentan las siguientes opciones, seleccione la más significativa. Su identidad quedará en anonimato. Muchas gracias.

Sexo: _____	Ocupación: _____
Edad: _____	Localidad: _____
Escolaridad: _____	Contacto: _____

1. Medio construido dominante donde reside

- Zona urbana alta densidad
- Zona urbana baja densidad
- Zona rural

2. ¿Desarrolla alguna actividad económica que dependa directamente de los recursos naturales que ofrece el municipio? Si/No ¿Cuál?

3. ¿Han sido afectadas sus propiedades por inundaciones?

- Si
- No

4. ¿Considera las inundaciones como un riesgo importante en su municipio?

- Si
- No

5. ¿Existe en el municipio altos riesgos más preocupantes que las inundaciones?

SI _____ (a continuación señale el más significativo)

No _____

- Incendios
- Sequías
- Accidentes industriales
- Contaminación marina
- Otro (especifique) _____

6. Por orden de importancia (1 a 5), determine las principales causas de las inundaciones en el municipio

_____ Exceso de precipitación

_____ Rotura de presas

_____ Desbordamiento de ríos

_____ Factor antrópico (actividades humanas)

_____ Episodios de lluvias torrenciales (huracanes)

7. ¿Cuáles son las localidades, sectores o puntos críticos de su municipio que resultan más afectados por las inundaciones?

8. ¿A partir de qué fuente o medio de comunicación ha tenido conocimiento del riesgo de inundación en su municipio?

- Radio
- Televisión
- Noticias
- Gobierno
- Internet
- Entre Personas (de voz en voz)

9. ¿Existe un plan de emergencia en su municipio para el riesgo de inundación?

- Si
- No

10. ¿Cómo ha sido la capacidad de respuesta o recuperación de la sociedad para afrontar una inundación?

- Óptimo
- Bueno
- Suficiente
- Insuficiente
- Inexistente

11. ¿Dispone el municipio de estudios o informes que evalúen las pérdidas económicas ocasionadas por episodios de inundación?

- Si No

12. ¿Qué tipo de medidas de adaptación al riesgo de inundación existen en su municipio?

- a) Canalización de ríos y arroyos
- b) Muros de contención
- c) Obras de desvío
- d) Embalses y presas
- e) Limpieza y mantenimiento del curso fluvial
- f) Prohibición de la construcción y/o edificación en espacios inundables

13. ¿Cuáles serían las medidas que tomaría usted en caso de que volviera a ocurrir una inundación?

14. ¿Considera la posibilidad de un incremento en la frecuencia de inundación?

- Si No

15. En este lugar _____ hasta donde recuerda usted que haya llegado el nivel máximo del agua durante una inundación.

Muchas gracias por su colaboración.

Bibliografía

- Angulo Fernández Fercia A. (2001). Estrategias adaptativas frente a inundaciones en Tlacotalpan y Cosamaloapan, Veracruz. Observatorio Geográfico de América Latina Tlalnepantla, Estado de México: UNAM.
- Carbajal Monroy J. (2004). Geomorfolología Kárstica de la carta Quechultenango, E14-C39. Facultad de Geografía, UAEM, Toluca, México.
- Centeno, J. D.; Pedraza, J. de; Molina, E. (1988) Geomorfolología en granitos, en M. Gutiérrez y J.L. Peña.
- Chorley, R. J. (1962). *Geomorphology and general systems theory*. U.S. Geol. Surv. Prof.
- Chorley, R. J. y Kennedy, B. A. (1971). *Physical Geography*, Prentice-Hall, London.
- Comisión del Papaloapan. (1990). Memoria de la Comisión del Rio Papaloapan Tomo I y II. Veracruz: Boletín del Archivo Histórico del Agua.
- Córdova C. (1988), Cartografía geomorfológica en escala pequeña del occidente de la República Mexicana. UNAM.
- De Pedraza Gilsanz (1996). Geomorfolología Principios, Métodos y Aplicaciones. Madrid, España.: Rueda S. L. pág. 49-68, 63-65
- Espinosa L. (2001) "Geomorfolología del Noroeste del Nevado de Toluca, México". Tesis para optar por el Grado de Maestro en Geografía. División de Estudios de Posgrado. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma del Estado de México, 2001.
- Espinosa y Hernández. (2015). Estudio del riesgo. Análisis multifactorial, multinivel y multitemporal. Toluca Estado de México: Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias.
- Garcia N. Martin R. (2004). Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. México, D.F.: CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres).
- García P. A. (S/A). Medidas Estructurales de defensa frente a inundaciones. Proyecto y control S. A. Modulo: Recursos hídricos. eoi (Escuela de negocios), Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del agua

- Geólogos del Mundo. (2007). Pobres x Desastres. Desastres de origen natural y cooperación al desarrollo. 16/agosto/2015, de Agencia Catalana de Cooperación al Desenvolupament Sitio web: http://www.geologosdelmundo.org/mm/file/Pobresxdesastrescast_lib.pdf
- Grawitz, (1975). METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION SOCIAL. 04/01/2017, de Archivo del Portal de Recursos para Estudiantes Sitio web: http://www.robertexto.com/archivo14/met_invest_social1.htm
- Gutiérrez E. M. (2008). Geomorfología. Pearson Educación, S. A., Madrid
- Hart, M. G. (1986). *Geomorphology Pure and Applied*, George Allen y Unwin, London. pág. 228.
- INEGI, (2010). Censo de Población y Vivienda 2010, Municipio de Tlacotalpan, Veracruz.
- Keller E. y Blodgett R. (2004). Riesgos Naturales. Procesos de la tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Person Educacion, S. A. Madrid.
- Knighton, D. (1998). *Fluvial form and processes. A new Perspective*. Arnold. London.
- Leopold, L. B.; Wolman, M. G. y Miller, J. P. (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*, V.H. Freeman, San Francisco.
- López Ramos (1993). Geología General y de México. México: Trillas.
- Lozano y Nathal, Gema. . (1991). Con el sello de agua: ensayos históricos sobre Tlacotalpan. Instituto Nacional de Antropología e Historia (México): Instituto Veracruzano de Cultura.
- Luna Fernando. (2013). Zonificación de amenaza por inundaciones en la parte baja de la Subcuenca del Zanjón Pacayá, Retalhuleu, Guatemala. Guatemala: Revista de la Universidad del Valle de Guatemala.
- Lugo-Hubp, J. I., 1988, Elementos de Geomorfología Aplicada, Instituto de Geografía, México, p. 128
- Lugo-Hubp, J. I., 1989. Diccionario geomorfológico. Instituto de Geografía. Coordinación de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F

- Martínez Flores E. (2004). Caracterización Geomorfológica de la Carta Chilpancingo, E14-C28. Tesis para obtener la Licenciatura en Geografía, Toluca, México. UAEM.
- Marcos González, A., López López, A., Ley Vega de Seoane, C. y Rivas Matos, C., 1989: Estudio de Regeneración de las márgenes del río Gállego en el término municipal de Zaragoza. INYPSA- Servicio de Medio Ambiente del Excelentísimo Ayuntamiento de Zaragoza, 3 vols., Informe inédito
- Matéu Bellés J. (2000). El contexto geomorfológico en las inundaciones de la ribera del Júcar. Valencia: Cuad. de Geogr.
- Meneses Moreno, Ana Belia. (2004). Impacto Político, Social y Cultural de la Presa Miguel Alemán en la Comunidad Mazateca de la Isla del Viejo Soyaltepec. Tesina para obtener Licenciatura en Ciencia Política. México: UAM.
- Miall, A. D. (1996). *The geology of fluvial deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*. Springer, Berlin.
- Morales, M. y M. Méndez (1997), Diagnóstico sobre la seguridad integral de la cuenca del río Papaloapan, tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad Veracruzana, México.
- Moreno O. (1992). Fundamentos de Geomorfolología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Ed. Trillas. México.
- Morisawa M. (1968). *Streams: their dynamics and morphology*, McGraw Hill book Co. New York.
- Morisawa, M. (1985). *Rivers. Forma and process*, Geomorphology texts 7, Longman, London. Pág. 222.
- Morris Davis (1973) *The Geographical Cycle*, pag.10
- Olcina S. J. y Ayala C. F. (2002), *Riesgos naturales*. Editorial Ariel. España.
- Pelcastré, (1995). Aplicación de un modelo de flujo en la llanura de inundación del Río Papaloapan para el análisis de proyectos de obras de protección para el control de inundaciones. México D.F. UNAM.
- Pérez Vega B. A, (2001). Vulnerabilidad a Inundación en el curso bajo del Río Papaloapan, Veracruz. México, D.F.: UNAM.

- Piégay, H. y Schumm, S. A. (2003). *Systems approaches in fluvial geomorphology*. En: Kondolf, G. M. y Piégay H. (Eds.) *Tools in fluvial geomorphology*. Wiley.
- Powell, J. W. (1896). *The Physiography of the United States, Monographs 1, Nacional Geographic Society*. Pág 33-64.
- Reineck, H. E. y Singh, I.B. (1975). *Depositional Sedimentary Environments with reference to terrigenous clastics*. Springer, Berlin.
- Richards, K. S (1987). *Fluvial Geomorphology. Progress in Physical Geography*.
- Rodríguez y Morales (2012), *Geología. Estado de Veracruz: PRONATURA Patrimonio Natural*.
- Romo, María de Lourdes. (2001). *Riesgo de inundación en la llanura fluvial del curso bajo del río San Pedro, Nayarit*. Nuevo Laredo, Tamaulipas: UNAM.
- Savigear, R. A. G. (1965). *A Technique of Morphological Mapping*. Ann. Assoc. am. Geogr. Pág. 55.
- SARH. (1975). *Atlas Climatológico e Hidrológico de la Cuenca del Papaloapan. Tomo I. Comisión del Papaloapan. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México*.
- SARH. (1977). *Recursos Naturales de la Cuenca del Papaloapan. Tomo II. Comisión del Papaloapan. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México*.
- Scholz, E. 1973; *Geomorphologische Karten und Legenden ausgewählter Massstabe*, Studia Geographica, Geograficky ustav Brno
- Schumm, S. A. (1977). *The fluvial system*, John Wiley and Sons, New York.
- Secretaría de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz (SEFIPLAN, 2010). *Censo de Población y vivienda, Sistema de Información Municipal, Tlacotalpan. Veracruz México: Cuadernillos Municipales*,
- Secretaría de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz (SEFIPLAN, 2014). *Sistema de Información Municipal, Tlacotalpan. Veracruz México: Cuadernillos Municipales*

- Secretaría de Protección Civil. (2011). Atlas Municipal de Riesgo Nivel Básico, Tlacotalpan Veracruz. Veracruz, México: Gobierno de Veracruz.
- Secretaría de Protección Civil. (2012). Atlas Municipal de Riesgo Nivel Básico, Tlacotalpan Veracruz. Veracruz, México: Gobierno de Veracruz.
- Subdirección de Geomorfología y Suelos del IDEAM. (2001). Geomorfología y Susceptibilidad a la inundación del Valle Fluvial del Magdalena Sector Barrancabermeja – Bocas de Ceniza. República de Colombia: IDEAM.
- SRH (1975), Atlas climatológico e hidrológico de la cuenca del Papaloapan, Secretaría de Recursos Hidráulicos, Comisión del Papaloapan, México.
- Strahler y Strahler (2004). *Laboratory manual for Physical Geography*. John Wiley and Sons Inc., USA.
- Sunborg A. y Ollero (1956). *The river Klarälven, a study of fluvial processes*. Geografiska Annaler.
- Tornero Blanco A. (2006). Fenómenos Perturbadores de origen hidrometeorológico. En Manual Inducción a la Protección Civil (14). México, DF:: Universidad Nacional de México UNAM.
- Toscana, Aparicio Alejandra (1998), Análisis Geomorfológico detallado del Volcán Ajusco y zonas adyacentes. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México D.F.
- Tudela Rivadeneyra F. (2011). Vulnerabilidad de la población infantil en educación primaria ante las inundaciones en la Ciudad de Tlacotalpan, Veracruz. México D.F.: UNAM.
- Zepeda & González (1997), Diagnóstico sobre la seguridad integral de la cuenca del Rio Papaloapan. IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua), México. D.F.
- Zepeda Ramos O. González Martínez S. (2001). Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. México, D.F.: CENAPRED