



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis geoespacial de zonas urbanas para la
representación de áreas susceptibles a inundaciones
causadas por precipitaciones extremas en el
municipio de Ecatepec, Estado de México.**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Geomático

P R E S E N T A

Quiroz Medina Sergio Francisco

DIRECTORA DE TESIS

M.C. Ana Lilia Salas Alvarado





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Índice

Contenido

Resumen	6
Introducción	7
Justificación	9
Capítulo 1 “Planteamiento del problema”	11
Localización geográfica de Ecatepec de Morelos.	12
Daños en la zona de Ecatepec.	14
Planteamiento del problema.	15
Objetivos para el desarrollo de la investigación.	17
Objetivo general.	18
Objetivos particulares.	18
Capítulo 2 “Antecedentes históricos de inundaciones en zonas urbanas del valle de México”	19
Inundaciones: Conceptos y definiciones.	19
Las inundaciones en la historia del valle de México.	21
Inundaciones en el territorio mexicano	26
Inundaciones en zonas urbanas	27
Capítulo 3 “Los daños causados por fenómenos naturales que suceden en zonas urbanas”	30
Vulnerabilidad y Susceptibilidad.	30
Riesgos Naturales	31
Riesgos por inundación.	33
Desastres.....	34
Desastres Naturales	34
Capítulo 4 “Las lluvias intensas y las inundaciones que afectan a la CDMX y área metropolitana”	36
Condiciones geográficas de la CDMX y área metropolitana.	36
Características de la CDMX y área metropolitana.....	37
Orografía.	37
Geología y geotecnia.	37

Climas.	38
Vegetación y agricultura.	38
La hidrología del medio urbano.	39
Principales factores causantes de las inundaciones en la CDMX y área metropolitana.	42
Factor natural.	43
Factor social.	43
Factor económico.	44
Factor político.	44
Evaluación de daños directos e indirectos debido a las inundaciones en el área metropolitana de la CDMX y área metropolitana.	45
Problemas sanitarios.	46
Problemas sociales.	46
Problemas económicos.	49
Consecuencias ecológicas.	49
Capítulo 5 “Recolección, Procesamiento y análisis geoespacial de datos correspondientes al municipio de Ecatepec de Morelos en el Estado de México”.	50
Intervención de la Ingeniería Geomática en el estudio de la problemática de inundaciones.	50
Marco teórico.	51
Marco Normativo.	52
Ley General de Protección Civil.	53
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.	53
Centro Nacional de Prevención de Desastres.	54
Ley de Protección Civil del Estado Libre y Soberano de México.	55
Comisión de Agua del Estado de México.	55
Recolección de datos.	56
Recursos del proyecto.	56
Que es un SIG.	57
Conceptos Cartográficos y Geodésicos.	58
Sistemas de coordenadas.	62

Datos Geográficos.....	65
Análisis geoespacial.....	67
Técnicas para el análisis e interpretación de datos geoespaciales de relevancia en la zona de estudio.	68
Los Datos Aplicados.....	69
Jerarquías Analíticas.....	70
Metodología.	72
Justificación de los criterios.	88
Diseño de alternativas para los criterios.	94
Unificación de los criterios.	161
Modelo digital de la inundación con ayuda de imágenes satelitales.	170
Capítulo 6 “Resultados”	172
Interpretación de los resultados.....	172
Resultados de la metodología para el reconocimiento de áreas de interés.	175
Representación del Modelo digital con ayuda de imágenes satelitales. ...	176
Representación de un mapa temático como resultado para el reconocimiento de superficies inundadas en la zona de Ecatepec de Morelos.	181
Conclusiones y recomendaciones.	183
Referencias.	185
Datos utilizados.	188

Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi formación académica, empezando desde el sistema de iniciación universitaria, hasta la culminación de mi carrera profesional en la Facultad de Ingeniería, agradezco haber tenido los recursos, instalaciones, amistades y profesores necesarios para llevar a cabo mi desarrollo como persona y como profesionista. A toda mi familia, pero en especial, Lic. Francisco Quiroz, Lic. Nidia Medina y Fernando Quiroz, quienes me brindaron su amor incondicional y apoyo emocional durante este largo proceso lleno de mucho aprendizaje, gracias por creer en mí siempre.

También quiero agradecer a mi directora de tesis, M.C. Ana Lilia Salas quien dedicó su tiempo, sus conocimientos, su apoyo, experiencia y sabiduría para guiarme en este proceso, siempre estuvo dispuesta a aclarar mis dudas y orientarme en el camino correcto, para que este trabajo de investigación saliera de manera excepcional, con la supervisión de los sinodales. A lo largo de este camino, he conocido muchas personas que han cooperado en mi desarrollo humano, conocí compañeros, profesores, laboratoristas, intendentes, prefectos, directoras y muchos lugares que se pueden aprovechar por pertenecer a la UNAM. Así, que agradezco a cada ser humano que me toco conocer, me ayudaron con sus comentarios constructivos, críticas constructivas, amistad, consejos, por compartir experiencias, momentos de diversión y conocimientos conmigo, haciendo que esta etapa sea una experiencia enriquecedora y llena de aprendizaje.

Además, quiero expresar mi entera gratitud para mis amigos cercanos M. en C. Adrián Romero, Ing. Daniel Téllez y para Evelyn Fuentes, mi cómplice, quienes me ayudaron con sus comentarios constructivos y críticas constructivas para mejorar cada aspecto de este proceso, siendo personas elementales que estuvieron a mi lado durante todo este tiempo, brindándome su apoyo emocional y alentándome a continuar cuando las cosas se ponían difíciles.

Finalmente, no puedo dejar de mencionar a Dios y a mis ángeles de la guardia que en su momento partieron de la Tierra, quienes me han dado la fuerza y me han guiado en todo momento, y han hecho posible que pueda culminar con éxito este proyecto.

Resumen

Al pasar del tiempo la naturaleza ha sido invadida por la vida humana, generando diferentes alteraciones, cambios muy notorios en los ciclos que se presentan en los ecosistemas. Estas alteraciones han llegado a tener grandes afectaciones que han ido destruyendo ecosistemas, generando modificaciones en la atmósfera, que a su vez, alteran el orden natural al que el planeta estaba acostumbrado, generando diferentes desastres naturales, como son: terremotos, erupciones volcánicas, inundaciones, deslaves, etc.

Este estudio aborda una propuesta de análisis Geomático de las inundaciones que son capaces de presentarse en áreas o manchas urbanas, que se han desarrollado a través del tiempo en México. Haciendo la representación mediante métodos de estudio capaces de mostrar los eventos ocurridos por las lluvias registradas en el municipio de Ecatepec de Morelos, ubicado en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Nuestro marco teórico retoma los conceptos de riesgo, vulnerabilidad socio ambiental, con el fin de mencionar las zonas más afectadas por la temporada de lluvias en la zona de estudio. De igual manera, se observa que las inundaciones pueden ser una variante de injusticia ambiental, ligada de manera directa a las formas de desarrollo que ha vivido a lo largo de un periodo de tiempo la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

La metodología usada en este caso de estudio abarca diferentes técnicas de procesamientos de datos abiertos, que se centran en el análisis y la modelización de variables asociadas a información espacial y espectral en base a una serie de métodos y análisis que se aplican con la Geomática en colaboración de las ramas que la conforman, cuyo objetivo es estimar valores desconocidos a partir de otros ya conocidos e imágenes comparativas para poder obtener los resultados de la investigación, apoyados de la búsqueda de información en imágenes aéreas en el tiempo, notas periodísticas, documentos y datos oficiales del municipio de Ecatepec de Morelos.

Introducción

En nuestro planeta el mayor porcentaje de la superficie está cubierto por agua, lo que da lugar a ser uno de los componentes esenciales para la vida. En México se encuentran distintos tipos de formas en las que el agua se hace presente en la parte superficial del territorio, generando que sea un país con una biodiversidad muy amplia para ser estudiado en las diferentes ramas de las ciencias existentes con objetivos determinados.

En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) existe un abrupto y desproporcionado crecimiento de la mancha urbana. La desconcentración industrial y el desarrollo de distintos tipos de poblamiento dieron pie a estas transformaciones del territorio, el crecimiento desbordado de las metrópolis destruye la naturaleza e influye en la producción de determinadas condiciones de vulnerabilidad frente a diferentes tipos de amenazas, lo cual incrementa el riesgo de desastre en todo el mundo, sobre todo en aquellos países como México.

La reubicación industrial del centro hacia la periferia de la metrópolis desplazó a la población en busca de empleos. Lo que provocó que los mecanismos financieros dirigidos a la construcción de vivienda de interés social expandieran el mercado inmobiliario y la edificación masiva de unidades habitacionales, favorecidas por el bajo costo del suelo. Estos procesos ocasionan un significativo cambio en los usos del suelo, acompañados de una mutación urbana, donde la falta de planeación y explotación extensiva del territorio dio pie a una serie de condiciones donde el riesgo se hizo presente, en zonas como Ecatepec de Morelos, Valle de Chalco, Cuautitlán, Nezahualcóyotl, entre otros.

Los desastres en el mundo contemporáneo representan un desafío epistemológico dado que implican problemas complejos y temporalidades múltiples.

El desastre es producto de la manipulación del hombre sobre la naturaleza y forma progresivamente las condiciones de vulnerabilidad social y el riesgo. Como evento que se materializa en un determinado tiempo y espacio, el desastre supone la emergencia de actores sociopolíticos con percepciones, discursos y acciones propias. Aquí entendemos al desastre como un proceso socio ambiental y no exclusivamente natural.

Sin embargo, parece necesario antes de pensar en mitigar la ocurrencia de desastres, preguntarse sobre cuáles son las causas y consecuencias de los desastres urbanos, como las inundaciones. En la Zona Metropolitana del Valle de México, las inundaciones son un problema recurrente, desde la época prehispánica. Además, en este lugar, según varias fuentes (CENAPRED), en los últimos diez años se han reportado el mayor número de incidentes por este tipo de desastres. Ello requiere de la comprensión detallada y

diferenciada de los elementos que hacen posible la presencia de las inundaciones en los municipios o delegaciones de la metrópolis de México. (Castillo Oropeza, 2018).

Las inundaciones pueden ser analizadas desde una visión donde el desarrollo-desastre conduce a procesos de injusticia ambiental. En este sentido, el territorio se convierte en un sitio de análisis interesante, pues los acelerados cambios, las sobrecargas, la falta de planeación y las consecuencias negativas a partir de decisiones unilaterales generan condiciones de vulnerabilidad socio ambiental, de riesgo y desastre.

La reducción de riesgos y enfatizar la gobernanza del riesgo como un nuevo campo de estudio permite entender la forma en cómo los habitantes de un espacio enfrentan el desastre, de qué manera esta situación permea sus interacciones sociales y cuáles son las consecuencias ambientales de las decisiones tomadas, las características propias que presentan los territorios, culturas y condiciones socio-históricas sirven para establecer diferencias importantes entre el peligro y el riesgo-desastre. El análisis del riesgo-desastre permite ver a los eventos desastrosos más allá de su origen geofísico y sus consecuencias materiales, involucrando cuestiones históricas, socio-económicas, políticas y culturales, donde las situaciones de vulnerabilidad social aumentan la incidencia de acontecimientos potencialmente dañinos.

El objetivo de esta propuesta de investigación es analizar las condiciones y los elementos que generaron situaciones de vulnerabilidad socio ambiental, riesgo y desastre en una zona urbana.

Justificación

El agua es parte esencial para el desarrollo de la vida en nuestro planeta, debido a que es un elemento indispensables para la ejecución de distintos periodos que se han desarrollado a lo largo de la historia de la humanidad, estos ciclos en combinación con las distintas representaciones de la vida en los variados ecosistemas que presenta el país de México nos explican la importancia que tiene la naturaleza dentro de nuestro planeta.

Las diferentes manchas urbanas generan componentes que son los causantes principales de que se generen alteraciones en el ambiente. La contaminación es la fuente principal que causa las alteraciones en los diferentes ecosistemas que se ubican a lo largo de México, se han realizado diversas investigaciones, artículos informativos, comunicados a la población, cursos informativos, entre otras, para concientizar la importancia de mantener un control ordenado en cuanto a las diferentes formas de contaminación al ambiente que existen.

Dentro de la zona centro del país, se ubica la zona metropolitana de la Ciudad de México, siendo uno de los puntos más poblados del país, se presentan muchas alternativas de estudio en cuanto a temas de investigación se refiere, dentro de esta área se pueden encontrar problemáticas que surgen derivadas de situaciones que no son provocadas por los humanos, como suelen ser los desastres naturales; tales como: erupciones volcánicas, derrumbes, sismos e inundaciones, en muchas ocasiones los desastres naturales causan afectaciones drásticas a diferentes sectores de la población, causando inconformidad y desesperación por la pérdida de diferentes bienes.

Existen diferentes campos que estudian los movimientos, comportamiento e interpretación de las descargas de energía que presenta nuestro planeta. Tener el conocimiento de la manera en que esta energía es liberada, no genera el hecho de poder tener una predicción de estos fenómenos naturales, pero se puede estar prevenidos y preparados para actuar de la mejor manera ante estos hechos naturales que pueden ser históricos.

Las inundaciones dentro de las áreas urbanas se han vuelto constantes, principalmente en las temporadas de lluvias que son generadas por las características de las estaciones del año en las que se desarrollan. El tener el conocimiento de las inundaciones en el área metropolitana del centro del país, no sólo radica en cargar un paraguas, este tipo de problemáticas que se presentan en la sociedad, tienen un origen que al paso de los años ha crecido haciendo que en la actualidad existan las inundaciones por precipitaciones en la zona del valle de México.

En esta investigación se intenta generar información confiable para el conocimiento de las causas que genera la problemática de las inundaciones dentro de una zona urbana, que a su vez, se pueda generar una interpretación gráfica de las zonas vulnerables y generar imágenes aéreas satelitales, para hacer las comparativas a este tipo de desastre natural, en base a datos estadísticos e informativos recolectados por portales de datos confiables.

La elaboración de esta investigación tiene como herramienta principal sondear la manera en que las diferentes alternativas que existen dentro del municipio se relacionan con las precipitaciones registradas en épocas pasadas. En este proyecto de investigación se estará realizando una metodología específica para la determinación de áreas de importancia en base a diferentes alternativas que tendrán mayor importancia sobre otras, la investigación se realiza en beneficio de las áreas afectadas de la zona y considerando las necesidades de la población, exponiendo las distintas causantes que ocasionan las inundaciones en la zona del municipio de Ecatepec de Morelos en el Estado de México.

Capítulo 1 “Planteamiento del problema”.

Entre los cambios más notorios y significativos de los procesos de urbanización está el del uso de suelo, que se caracteriza por sus severos impactos en la hidrología local, debido a las alteraciones de los escurrimientos. La relación lluvia escurrimiento se ve modificada, debido a que el volumen de precipitación que antes se evapora, evapotranspira o se infiltra, ahora pasa a ser escurrimiento superficial. Es por eso que las ciudades han construido diferentes obras de infraestructura pluvial encargada de captar el agua de lluvia de las calles, con el fin de que sea trasladada a un punto de descarga (generalmente ríos o arroyos) donde no se tengan problemas de inundaciones (IMTA, 2021).

Entre las décadas de 1970 y 1990 se incrementó la población en casi seis veces y como consecuencia el área urbana también se expandió.

El proceso de industrialización en Ecatepec, puede dividirse en cuatro etapas:

- a) de 1943 a 1950, cuando se crearon los primeros parques industriales en la zona.
- b) de 1951 a 1982, en que se conforman las primeras colonias de habitación popular por invasión-ocupación, se incentiva la creación de fraccionamientos habitacionales y se consolida la concentración industrial.
- c) de 1982 a 2000, que se caracteriza por la pérdida de la centralidad del proceso de industrialización en el municipio.
- d) de 2000 en adelante, cuando este municipio se integra a los procesos de la economía global, sin que desaparezca la actividad industrial y habitacional que lo ha caracterizado durante varias décadas.

Las causas del crecimiento urbano, el deterioro ambiental en la zona metropolitana del valle de México, los procesos de poblamiento y la actividad industrial son las problemáticas más recurrentes. Como ejemplo se puede mencionar lo ocurrido en la Ciudad de México en septiembre de 2009, en el norponiente del valle de México donde cayó una precipitación atípica, estimada en 109.5mm. Esta tormenta inundó aproximadamente tres mil viviendas en seis delegaciones del Distrito Federal y tres municipios conurbados. Los mayores daños fueron localizados en el municipio de Tlalnepantla, se calcula que el agua cubrió un radio de 1.5 km, afectó a 1,945 viviendas y daño a 1,700 automóviles, el agua alcanzó hasta 1.5 metros de altura. De igual manera en febrero de 2010 se presentaron lluvias

atípicas en el Valle de México llevando al colapso una de las paredes de contención del Canal de Chalco en una extensión de 70 metros, generando una inundación de aguas negras de hasta 2 metros de altura, cortando la circulación de la autopista México-Puebla y cubriendo zonas habitacionales aledañas, se estima que el desastre afectó a 1,600 viviendas. (Rodríguez, 2012).

Esto quiere decir que los daños humanos y materiales debido a las inundaciones pueden llegar a ser de una magnitud muy grande, que a pesar de contar con infraestructura para el control de este desastre natural, se siguen y seguirán presentando, por lo que es necesario implementar acciones preventivas, en manera de ordenamiento territorial, planes de desarrollo urbano que incluyan estudios de áreas inundables, lineamientos de operación de infraestructura de control de inundaciones, para evitar o al menos disminuir los daños materiales y las pérdidas económicas. (Rodríguez, 2012).

Localización geográfica de Ecatepec de Morelos.

Ecatepec de Morelos se encuentra al oriente en el Estado de México. En el mapa se puede localizar en las coordenadas geográficas 19° 19' 24" latitud Norte y 99° 19' 49" longitud oeste (Imagen 1 y 2), está formado por una extensión territorial de 155 kilómetros cuadrado, ubicado a una altura de 2,200 y máxima de 2,600 msnm.

El municipio de Ecatepec de Morelos colinda al norte con los municipios de Coacalco, Tultitlan, Jaltenco, Tonalitla y Tecámac; al este con los municipios de Tecámac, Acolman y Atenco; al sur con los municipios de Atenco, Texcoco, Nezahualcóyotl, CDMX y Tlalnepantla de Baz; al oeste con el municipio de Tlalnepantla de Baz, CDMX y Coacalco, ocupa el 0.72% de la superficie del estado de México.

Cuenta con 9 localidades y una población total de 1, 688,258 habitantes. Es una región dentro del territorio mexicano que alcanza unas temperaturas de 12°C a 18°C, con un clima seco con lluvias en verano, semiseco y templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad.

La zona urbana está creciendo sobre suelos del Cuaternario y rocas ígneas extorsivas del Neógeno; en llanuras, sierras y se urbanizó sobre terrenos previamente ocupados por agricultura, pastizales y matorrales. Actualmente se sitúa en un lugar estratégico, siendo un punto clave para el control de las rutas comerciales entre las regiones del norte y la Cuenca de México, lo cual generó que, durante la época prehispánica, fuera un espacio de continuos enfrentamientos con el objetivo de dominar su territorio.

De acuerdo con los datos proporcionados por el Observatorio Meteorológico Nacional de Tacubaya que hace referencia a la precipitación pluvial, el promedio anual es de 584 mm y en los meses de junio, julio, agosto y septiembre se registra la máxima precipitación (Gobierno del Estado de México, 2009).



Imagen 1. Ubicación del Estado de México. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 2. Ubicación del municipio de Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

Daños en la zona de Ecatepec.

Las inundaciones son un problema que afecta a mucha población que habita las zonas urbanas de las diferentes partes del mundo, para la elaboración de este proyecto se consideraron distintos ejemplos ocurridos en la Ciudad de México. De acuerdo a las publicaciones históricamente generadas por la sección Política del diario La Jornada, miles de viviendas tienden a frecuentar tragedias recurrentes que amenazan a decenas de personas, pese a las multimillonarias obras emprendidas para contenerlas (La Jornada, 2011).

Este es un recuento de años recientes que generaron el interés por la elaboración de este proyecto para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

En mayo de 2007, una fuerte lluvia en los municipios del oriente del estado de México dejó severos encharcamientos en Ecatepec y más de 200 viviendas inundadas en Ixtapaluca por el desbordamiento del canal de las aguas negras Guadalupe Victoria. Para junio del mismo año unas 300 viviendas se inundaron hasta metro y medio, tras un aguacero que hizo desbordar el canal de aguas negras por segunda vez (La Jornada, 2011).

En septiembre del 2009, el área afectada se encuentra en el norponiente de la Zona Metropolitana del Valle de México, donde cayó una precipitación atípica, esta tormenta inundó aproximadamente tres mil viviendas en seis delegaciones de la Ciudad de México y tres municipios conurbados. Los mayores daños fueron localizados en el municipio de Tlalnepantla, donde la presión del agua reventó el túnel Emisor Poniente, inundando la colonia Valle Dorado. Las autoridades calculan que el agua cubrió un radio de 1.5 km, afectó 1,945 viviendas y daño 1,700 automóviles, en aproximadamente 50 km, el agua alcanzó hasta 1.5 metros de altura. Al no existir una normatividad para definir el monto de las indemnizaciones a los afectados, había confusión y decepción con respecto a lo ofrecido por los gobiernos federales y mexiquenses, pues las personas afectadas fueron sorprendidas por la magnitud del desastre (Rodríguez, 2012). En octubre del 2009, inundaciones de hasta dos metros cobran la vida de tres personas y causan graves daños en Ecatepec, Coacalco y Tultitlán, donde miles de viviendas quedaron bajo las aguas pestilentes de los distintos canales de la zona (La Jornada, 2011).

En 2010, se continuaron registrando lluvias prolongadas que inundaron alrededor de 300 viviendas de las diferentes colonias en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (La Jornada, 2011).

Para el año 2021, se registraron lluvias extraordinarias de 24 milímetros por metro cuadrado que se precipitaron durante hora y media sobre Ecatepec de Morelos, en el

Estado de México, principalmente en la zona centro de San Cristóbal y en las comunidades de la Sierra de Guadalupe, dejaron colonias inundadas, así como toneladas de lodo y basura que fueron arrastrados por las fuertes corrientes. El mandatario del municipio mencionó que el pronóstico meteorológico indicaba una precipitación pluvial de entre 4 y 6 milímetros, pero la tormenta superó los 24mm, lo que rebasó la capacidad del sistema de drenaje para el desalojo de las aguas pluviales y provocó que colapsan las alcantarillas y drenaje del municipio mexiquense, generando esas inundaciones desmedidas. Las calles se convirtieron en ríos de aguas negras debido al desbordamiento de la Sierra de Guadalupe y represas de la reserva, arrastrando lo que había por su paso, vehículos, inundó casas y establecimientos, causando miedo y nerviosismo, pues algunos transformadores de luz se dañaron (Cruz, 2021). El dato oficial de SACMEX señaló que cayeron 10.4 mm en la estación ubicada en el municipio, sin embargo, en medios de comunicación se habla de una caída de 24 mm en 90 minutos. Es decir, ésta última representaría lo que existe tras un breve chubasco, lo que nos puede hacer pensar que los motivos de la inundación van mucho más allá que sólo la precipitación, los impactos que hemos tenido como sociedad al menos hasta la mitad del periodo más lluvioso del año nos demuestran que debemos impostergablemente mejorar los protocolos de prevención y atención a las emergencias, considerando que estas pueden presentarse de manera simultánea (Metro Red, 2021).

Planteamiento del problema.

Considerando que se han presentado a lo largo del tiempo diferentes y diversos tipos de inundaciones para la ZMCM, se determinó hacer la demostración o representación de una inundación, trabajando con la información de los registros para las lluvias durante el año 2021, se planean manejar los datos de precipitación de lluvia acumulada durante un periodo anual (2021) en Ecatepec de Morelos, en donde se presenta una variación de registro de lluvia mensual por estación meteorológica.

La probabilidad de días mojados en Ecatepec varía considerablemente durante todo el año. La temporada más mojada dura 4.5 meses, del 28 de mayo al 11 de octubre, con una probabilidad de más del 41% de que serán días mojados. El mes con más días mojados en Ecatepec es julio, con un promedio de 23.6 días por lo menos 1 milímetro de precipitación. La temporada más seca dura 7.5 meses, del 11 de octubre al 28 de mayo. El mes con menos días mojados es diciembre, con un promedio de 1.2 días por lo menos 1 milímetro de precipitación. Entre los días mojados, distinguimos los que tienen solamente lluvia, nieve, o una combinación de ambos, en base a esta categorización, el tipo más

común de precipitación durante el año es sólo lluvia, con una probabilidad máxima de 79% el 3 de julio (Imagen 3).



Imagen 3. Registro de probabilidad diaria de precipitación en Ecatepec. Fuente: Weather Spark, Recuperado de: https://es.weatherspark.com/y/5664/Clima-promedio-en-Ecatepec-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o#google_vignette

La variación durante un mes de lluvias, muestran las precipitaciones acumuladas durante un período anual establecido (2021). Ecatepec presenta una variación extrema de lluvia mensual por estación.

La temporada de lluvia dura 7.4 meses, del 5 de abril al 17 de noviembre, el mes con más precipitaciones se registra por lo regular en el mes de julio, con un promedio de 127 milímetros de lluvias. El periodo del año sin lluvias dura 4.6 meses, del 17 de noviembre al 5 de abril, en este periodo el mes que menor registro presenta es diciembre con un promedio de 4 mm de lluvia. En la temporada 2021 los vecinos de Ecatepec se vieron sorprendidos por la llegada de las lluvias más intensas, con inundaciones de medio metro de altura a pobladores en el municipio, al menos 19 colonias resultaron afectadas y dos personas habrían perdido la vida, informó el Gobierno municipal. (INFOBAE, 2021).

En el año 2021, periodo anual que se pretende abarcar en este proyecto, se generó un registro mayor entre el 5 de abril y el 17 de noviembre, con un promedio de precipitación entre 13 mm como mínima y 139 mm como máxima de lluvia (Imagen 4). Estos registros

son una de las razones principales para que el problema de las inundaciones en Ecatepec fuera muy catastrófico y dañino para la comunidad (Weather Spark, 2021).

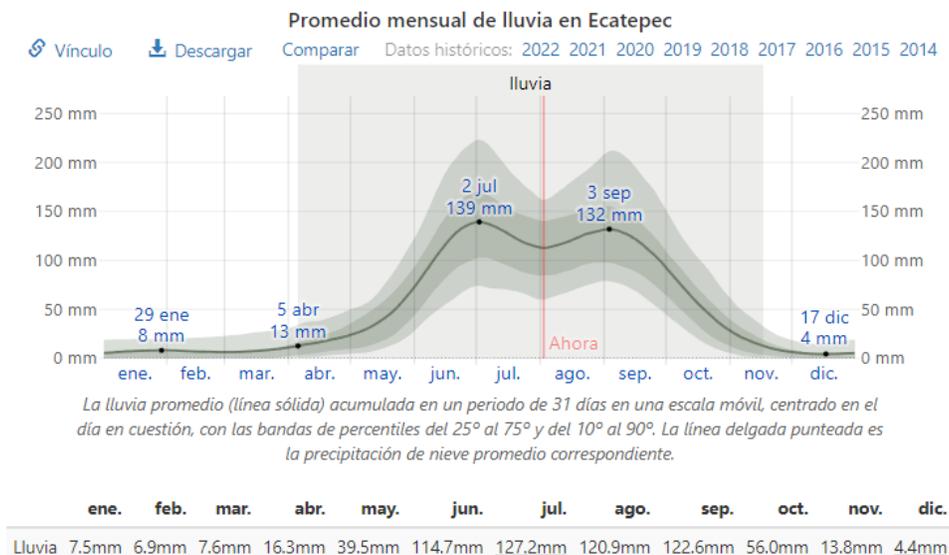


Imagen 4. Registro de promedio mensual de lluvias en Ecatepec año 2021. Fuente: Weather Spark, 2021. Recuperado de: https://es.weatherspark.com/y/5664/Clima-promedio-en-Ecatepec-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o#google_vignette

Visualizando los registros de lluvias obtenidos para el año 2021, las problemáticas que existen, dentro de las áreas vulnerables delimitadas por el municipio de Ecatepec de Morelos. Se propone una visualización actualizada del gran problema que generan las inundaciones, con la recolección de diferentes datos informativos de la zona, que puedan generar una representación de las inundaciones en zonas urbanas, reconociendo que este desastre natural es causante de fuertes daños a la población en diferentes aspectos, recibiendo muy poca o nula ayuda por parte de los gobernantes en turno.

Objetivos para el desarrollo de la investigación.

El conocimiento y ubicación de la zona de estudio ayuda a determinar algunas características de las afectaciones, con apoyo de la recopilación de datos en los diferentes portales de datos abiertos, se tendrá una relación muy directa en la obtención de los resultados y el análisis en cuanto a las inundaciones provocadas por las lluvias en la zona de Ecatepec de Morelos, en el Estado de México.

Se toma este periodo de estudio debido a las fuertes precipitaciones registradas en el mes de septiembre de 2021 que fueron atípicas para el municipio de Ecatepec de Morelos,

lugar donde se generan constantemente desastres naturales por vulnerabilidad social de las comunidades que sufren el impacto de tales eventos, en donde, el objetivo es que se pretende determinar y delimitar las áreas o las zonas que fueron afectados por inundaciones y relacionar el grado de marginación de las personas que habitan dichas áreas, para prevención de posibles desastres naturales que se puedan presentar en futuras temporadas de lluvia.

Objetivo general.

- Elaborar distintos mapas que nos permitan visualizar y analizar las zonas con mayor vulnerabilidad a inundaciones durante la temporada de lluvia, logrando tener la representación de este desastre natural en manchas urbanas, mediante el procesamiento de información geoespacial.

Objetivos particulares.

- Recolectar diferentes datos que sean criterios causantes de las inundaciones en zonas urbanas, obteniéndose de plataformas oficiales emitidas por la parte gubernamental correspondiente para Ecatepec de Morelos en el Estado de México y determinar la importancia que tienen los criterios seleccionados, con la problemática que genera una inundación para esta zona elegida.
- Elaborar un mapa que tenga la representación cuantificada de los distintos criterios seleccionados, en relación con las inundaciones por precipitación en una zona urbana. Mediante la metodología de una EMC (Evaluación Multicriterio) los datos serán procesados, para la obtención final de un mapa temático representando las áreas más vulnerables a inundaciones en el año 2021, para el municipio de Ecatepec de Morelos.
- Trabajar las diferentes herramientas de la rama de percepción remota, generando diferentes imágenes satelitales, que serán procesadas mediante los métodos correspondientes a la interpretación del agua dentro de manchas urbanas y así obtener la representación visual de la zona durante una inundación, para generar una comparación del área de estudio en diferentes etapas del tiempo.

Capítulo 2 “Antecedentes históricos de inundaciones en zonas urbanas del valle de México”

El problema de las inundaciones en México es añejo. Tenochtitlan sufrió severas inundaciones que fueron provocadas por los desniveles de los lagos de Zumpango y Texcoco, en el año de 1466 y posteriormente en 1449, cuando los aztecas tuvieron que construir el Albarradón de Nezahualcóyotl para prevenir inundaciones posteriores y evitar la mezcla de las aguas del lago de Texcoco con las aguas dulces de los demás lagos. Con una longitud de 16 kilómetros, varios de los cuales se construyeron en el agua, y quince metros de ancho, la albarrada de Nezahualcóyotl dividió la vasta laguna en dos: “la del oriente de aguas saladas, que siguió llamándose lago de Texcoco y la occidental cuyas aguas rodeaban a la metrópoli y se denominó Laguna de México, cuyas aguas se volvieron dulces”. La albarrada evitaba el desbordamiento del lago de Texcoco sobre Tenochtitlan cuando sus aguas crecían, o evitaban su desecación si el nivel bajaba drásticamente, en pocas palabras, servía como presa y distribuidora de agua.

Inundaciones: Conceptos y definiciones.

En 1604, la ciudad sufrió grandes inundaciones que persistieron durante meses, dado que, en la cuenca cerrada, la única salida del agua era por evaporación, fue que se decidió construir una salida artificial para drenar los excedentes hacia la cuenca del río Tula. En el lapso de construcción se produjeron varias inundaciones de gran magnitud dentro de las que destacan entre los años de 1629-1635, en la que se estima murieron 30.000 personas, provocó el desalojo a cerca de 20.000 familias españolas y la lluvia colmó el espacio urbano durante 5 años. Cuando las aguas regresaron a sus límites naturales, la capital de la Nueva España sólo contaba con 400 familias. La catástrofe fue tan grande que se pensó seriamente en trasladar la ciudad a otro sitio, la Guadalupana fue llevada desde su santuario en el cerro del Tepeyac hasta la Catedral de México. Muchas de las familias españolas emigraron a Puebla de los Ángeles y propiciaron su desarrollo comercial, mientras la Ciudad de México continuaba su decadencia. Las canoas que transitaban junto al palacio virreinal y cerca de la catedral, recordaban los viejos canales de Tenochtitlán.

Hacia 1856 las inundaciones eran cada vez más alarmantes, por lo cual se propuso construir un canal que saliera desde San Lázaro, al este de la ciudad, para atravesar los lagos de Texcoco, San Cristóbal y Zumpango, canalizando sus aguas y las de los ríos que cruzara a su paso. Se buscaba un aprovechamiento integral del agua del valle, que lograra

un equilibrio que favorece la economía y la vida cotidiana. El tiempo pasó y las turbulencias políticas impidieron que se iniciaran las obras, sólo se avanzó en el levantamiento parcial de la carta hidrográfica del valle de México.

Fue durante el gobierno de Porfirio Díaz, cuando se logró construir un verdadero desagüe para la Ciudad de México. Se construyó el “Gran Canal”, que permitiría gobernar las aguas del valle. El gran canal del desagüe y el primer túnel de Tequixquiac se inauguraron el 16 de mayo de 1900, el gran canal culmina en una presa que regulaba el paso de las aguas hacia el río Tula. También se llevó a cabo un plan de saneamiento para la capital, con la construcción de una red de alcantarillado, cuyas aguas residuales se arrojaron al gran canal. Se adaptó un sistema combinado, que arrojaba aguas pluviales y aguas residuales residenciales e industriales. Con el desagüe no sólo quedaba eliminado el peligro de las inundaciones, sino que abatían las altas tasas de mortalidad que se registraban entre los habitantes del Valle de México.

En su informe al Congreso de la Unión en ese año, Díaz la calificó como una “obra colosal, aspiración de varios siglos”.

El sistema funcionó más o menos bien hasta 1925, año en el que se presentaron nuevamente inundaciones de gran magnitud. En 1947 el Dr. Nabor Carrillo propuso la explicación científica del fenómeno del hundimiento y su relación con la extracción, mediante pozos de agua del subsuelo.

El crecimiento de la población se hizo explosivo a partir de 1930, para el cual se calcula que la ciudad estaba habitada por un millón de personas, que se incrementaron a dos millones en 1940, tres millones en 1950 y más de cinco millones en 1960. A lo largo de estos años se construyeron miles de kilómetros de diversos conductos para el drenaje y se inició la construcción del sistema de presas para la regulación de las avenidas en la ciudad.

A pesar de los trabajos desarrollados en estos años, se continuaban presentando inundaciones recurrentes y cada vez mayores. Nuevamente se trabajó en soluciones, dentro de las que destacan la construcción de grandes plantas de bombeo de los colectores principales al Gran Canal y el incremento sustancial de la capacidad de éste mediante la ampliación de las secciones y la construcción del segundo túnel de Tequixquiac, terminado en 1954.

Entre 1954 y 1967, se construyeron colectores, plantas de bombeo, entubamiento de distintos ríos, pero estas obras seguían resultando insuficientes para el crecimiento acelerado de la población y sobre todo por el hundimiento de la ciudad.

En 1967 se inició el sistema de drenaje profundo. Esta obra constaba, en el proyecto original, de dos interceptores de 5m de diámetro y 18 km de longitud conjunta, con una profundidad que varía de 30 a 50 m. Los interceptores se descargan en el Emisor Profundo, de 6.5m de diámetro y 50 km de longitud. La obra considerada por muchos como “definitiva”, se inauguró en 1975. (Domínguez, 2000)

En la actualidad el sistema de drenaje profundo cuenta con más de 80 km de interceptores, además de los 50 km del Emisor Profundo. El objetivo fundamental del sistema es evitar la ocurrencia de inundaciones que causen daños directos a la vida de la población o sus bienes, así como daños indirectos por la afectación al desarrollo normal de las actividades humanas. Los cauces naturales solamente se conservan en las zonas montañosas que rodean el valle de México. Los ríos que cruzan la zona urbana han sido entubados para evitar el contacto de la población con las aguas negras.

[Las inundaciones en la historia del valle de México.](#)

Las inundaciones son ocupaciones parciales o totales de agua que ocurren en una superficie que usualmente está seca y que podrían generar daños materiales y/o humanos. Las inundaciones se consideran eventos producidos por fenómenos naturales como lluvias, huracanes o derretimiento de nieve; producidos por la actividad humana (Significados, 2021).

La mayoría de las inundaciones de un río están relacionadas con la cantidad y distribución de las precipitaciones en la cuenca de drenaje, la velocidad a la que las precipitaciones empapan el suelo y la rapidez con la que la escorrentía superficial de dichas precipitaciones llega al río, la cantidad de humedad del suelo en el momento en el que la precipitación comienza desempeña también un papel importante en la inundación. Si cae una precipitación considerable en una cuenca de drenaje saturada, tendrá lugar la inundación, ya que si la misma cantidad de precipitación cae en una cuenca seca, el suelo puede absorber una gran cantidad de humedad y así ayudar a evitar una posible inundación.

La lluvia caída en suelo helado, la nieve acumulada o la rápida fusión de hielo y nieve, pueden provocar inundaciones en zonas montañosas y en latitudes más altas, en estas zonas también se pueden formar obstrucciones de hielo en los ríos y posteriormente revientan produciendo inundaciones (Keller, E. y Blodgett, R., 2004).

Las inundaciones pueden tener varias causas lo cual se refiere a los diferentes eventos o actividades que pueden producir una inundación, las cuales son: Causas naturales y causas no naturales.

Las causas naturales tienen que ver con los eventos naturales que ocurren sin la intervención humana.

- Las lluvias generan una saturación de agua en el terreno que al no drenar rápidamente, ocasionan inundaciones.
- Deshielo que se refiere a la condensación del hielo, lo que hace que el agua llegue a los ríos y aumente su cauce, provocando su desbordamiento.
- Tormentas, huracanes, tifones o tsunamis, los cuales generan olas de gran magnitud que pueden derribar barreras naturales o artificiales, facilitando la entrada de agua en tierra firme a gran velocidad, e inundado todo a su paso.

Las causas no naturales se relacionan con las actividades humanas que tienen un impacto directo en los cuerpos de agua o en la disminución de la calidad del terreno.

- Las fallas hidráulicas son rupturas de presas o diques, que liberan gran cantidad de agua en muy poco tiempo, saturando el terreno o los cuerpos de agua cercanos y ocasionando inundaciones.
- La contaminación del agua hace referencia a la manera en que los residuos sólidos y las aguas residuales o servidas pueden obstruir los cauces de los cuerpos de agua, propiciando su elevación y posterior desbordamiento.
- La erosión del terreno debido a las obras urbanísticas, el exceso de cultivos o la contaminación disminuyen la calidad del terreno, aumentando su permeabilidad, lo que lo hace susceptible a saturarse con mayor rapidez (Significados, 2021).

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

Entre los efectos primarios se encuentran los heridos, pérdidas de vidas y daño causado por corrientes rápidas, detritos y sedimentos en granjas, viviendas, edificios, ferrocarriles, puentes, carreteras y sistemas de comunicación. La erosión y deposición de sedimentos durante una inundación también puede suponer una pérdida considerable de suelo y vegetación.

Los efectos secundarios pueden incluir la contaminación a corto plazo de ríos, hambre, enfermedad y el desplazamiento de personas que han perdido sus hogares. El fallo de estanques de aguas residuales, plantas de tratamiento, alcantarillas sanitarias y sistemas sépticos contaminan con frecuencia las aguas de inundación con microorganismos causantes de enfermedades. (Keller, E. y Blodgett, R., 2004).

En general, las propiedades comerciales y residenciales pueden experimentar más daños que la tierra utilizada para el cultivo, cría de ganado o esparcimiento.

Existen varias clasificaciones de inundaciones según los diversos organismos oficiales de prevención de desastres:

Inundaciones súbitas.

Se trata de eventos en los que el agua se acumula y satura el terreno en un período muy breve. Generalmente son inundaciones ocasionadas por precipitaciones de aparición repentina pero de efecto intenso. Es decir, lluvias que se generan de repente y que además duran mucho tiempo.

Las inundaciones súbitas se consideran una de las categorías más peligrosas, ya que por su naturaleza dificultan las tareas de prevención y desalojo de las poblaciones afectadas.

Una de las características más resaltantes es que suelen generarse en terrenos con inclinaciones pronunciadas. Esto facilita el rápido descenso del agua y la anegación del terreno, con los daños estructurales y humanos que esto implica.

Inundaciones lentas.

Son generadas por lluvias persistentes que pueden ser intensas o moderadas, lo cual provoca una saturación progresiva del terreno. En estos casos, las precipitaciones pueden durar entre dos y cuatro días como mínimo.

La naturaleza persistente de las precipitaciones puede generar daños materiales en estructuras deficientes, así como también pueden perjudicar cultivos y cosechas. Sin embargo, en este caso es posible activar protocolos de prevención y contención de daños porque el margen de tiempo es mayor.

Inundaciones fluviales.

El desbordamiento de los ríos es una de las causas más comunes de inundaciones recurrentes en regiones del tercer mundo, son inundaciones ocasionadas por el desborde de los ríos, bien sea por problemas asociados a la calidad del terreno de sus riberas o por un aumento considerable del caudal.

Este aumento en el nivel del agua puede producirse por lluvias intensas o prolongadas y por el derretimiento de nieve en zonas cercanas al río.

Inundaciones pluviales

Es cualquier saturación de terreno causada por las lluvias. En algunos países, las inundaciones de origen pluvial son una constante en ciertos períodos del año, como en la India, cuyas lluvias provocadas por los vientos monzones generan grandes inundaciones durante el verano.

Inundaciones costeras

Se trata de eventos causados por la elevación del mar, que termina entrando a tierra firme, bien sea por el efecto de lluvias intensas, maremotos, tsunamis, tormentas o tifones. En ese sentido, las inundaciones costeras pueden darse en alguna de estas tres formas:

- Directa: el agua irrumpe directamente el terreno ante la ausencia de barreras naturales o artificiales.
- Ruptura de barrera: el agua rompe una barrera natural o artificial como resultado del fuerte oleaje.
- Exceso de barrera: el tamaño del oleaje o de la marea supera una barrera, bien sea natural o artificial e inunda el terreno. (Significados, 2021).

Inundaciones por rotura y operación de infraestructura hidráulica

Son poco frecuentes y tienen su origen por un diseño escaso, mala operación, falta de mantenimiento o término de la vida útil. Se trata de un hecho circunstancial poco probable y no necesariamente relacionado con los fenómenos meteorológicos

Inundaciones repentinas

Se genera por precipitaciones intensas en cuencas de respuesta rápida. Ocurren con frecuencia en la periferia de las grandes concentraciones urbanas, donde el mismo desarrollo favorece los asentamientos humanos.

Inundaciones de larga duración

Se presentan en zonas bajas, en áreas extensas y se originan por el volumen acumulado de precipitación pluvial durante varios días o semanas. No son causantes de pérdidas humanas pero sí de importantes pérdidas económicas en zonas urbanas y rurales.

Encharcamiento

Tiene lugar en sectores urbanos, con periodicidad anual y duración intermedia, con la consecuencia del retraso en el desarrollo de las actividades productivas de la población. Es un fenómeno causado por la saturación del suelo, caracterizado por la presencia de láminas delgadas de agua sobre la superficie del suelo en pequeñas extensiones y por lo general, presente en zonas moderadamente onduladas o planas. El fenómeno puede durar de pocas horas hasta unos pocos días.

A nivel mundial el problema de las inundaciones radica principalmente en la planeación inadecuada y por las circunstancias socioeconómicas que implican los asentamientos humanos en zonas susceptibles a la inundación. Es por ello que los desastres se construyen a partir de los procesos sociales, los cuales modifican o alteran el ambiente, en sí, los eventos naturales no implican a los desastres sino que las sociedades convierten a los eventos de origen natural en peligrosos y estos resultan en un riesgo que posteriormente se traducen en desastres al ser combinados con la vulnerabilidad de la población. Así se tiene que a partir de la construcción de las ciudades se genera automáticamente un cambio en los sistemas ecológicos y ambientales originales, en este contexto las áreas inundables son aquellas que debido a la geomorfología, posición en la cuenca, pendiente, características del suelo, condiciones meteorológicas u otras condiciones, suelen cubrirse de agua de forma recurrente o permanente y así surgen las inundaciones (Alfie-Cohen y Castillo-Oropeza, 2018).

Inundaciones en el territorio mexicano

Nuestro país cuenta con gran diversidad de climas, como consecuencia de su posición geográfica y la influencia de factores geográficos como latitud y altitud. México se encuentra entre las latitudes 14° y 16° Norte, por lo que se encuentra en las zonas tropical y templada, teniendo como resultado los climas de tipo A (Cálidos), tipo B (Secos) y tipo C (Templados). Como se muestra en la Imagen 5



Imagen 5. Distribución de climas en México. Fuente: <https://www.unionpuebla.mx/sites/default/files/2020/12/climas-mexico-0012.jpg>

En la ubicación Sur del país se concentran los climas de tipo húmedo, lugares donde se han generado diferentes tipos de inundaciones que han provocado grandes desastres naturales, y afectaciones a zonas vulnerables a este fenómeno.

En estados ubicados al sur del país como Chiapas y Tabasco registran eventos ocurridos en el año de 2007, debido al crecimiento de los ríos que recorren ambas entidades, considerando de igual manera afectaciones en el estado de Veracruz,

dejando miles de personas afectadas, entre viviendas, áreas de cultivo y pastizales. Tabasco es un estado propenso a sufrir grandes inundaciones, ya que alrededor del 60% del territorio es llano y por lo tanto vulnerable al desbordamiento de los ríos cercanos.

El registro de diferentes tormentas tropicales, huracanes, entre otros fenómenos naturales que causan las inundaciones, se encuentran ubicados principalmente en los estados de Campeche, Oaxaca, Yucatán y Quintana Roo. Siendo estos estados los más vulnerables a fenómenos naturales de esta índole, por su ubicación geográfica y cercanía con el mar.

Inundaciones en zonas urbanas

Las inundaciones son función de la relación entre lluvia y escorrentía que cambia apreciablemente con la urbanización, sin embargo, la extensión de las inundaciones urbanas está relacionada no solo con el caudal máximo de una inundación sino también con las condiciones del sistema de drenaje, además de aumentar la frecuencia de la escorrentía y la inundación, la urbanización afecta a la rapidez con la que se desarrolla una inundación. Antes de la urbanización existe un considerable retraso, entre el tiempo de mayor intensidad de lluvia y la inundación, los tiempos de retardo cortos se caracterizan por una rápida subida y bajada de las aguas de inundación (Keller, E. y Blodgett, R., 2004).

Este tipo de inundación afecta a las ciudades y comunidades urbanizadas. Pueden tener un origen natural (precipitaciones o desbordamiento de ríos) o artificial (fallas en las obras hidráulicas, ruptura de diques, etc.).

La densidad poblacional ha provocado el desequilibrio y la vulnerabilidad de los ecosistemas debido a la sobrecarga en el territorio en cada espacio que compone la ciudad, la erosión del terreno y el aumento en la producción de basura son solo algunos de los factores que causan las inundaciones urbanas.

El proceso socio histórico de extracción y expulsión del agua en la cuenca del valle de México ha permitido el crecimiento exacerbado de la mancha urbana y el deterioro ambiental, convirtiéndose en una de las zonas geográficas más vulnerables ante las amenazas naturales y, por lo tanto, de riesgo ambiental. En este acelerado crecimiento, la destrucción de la naturaleza y la renovación de sus recursos naturales son las características más evidentes, convirtiéndose en uno de los desastres y riesgos latentes en la ZMCM. (Alfie-Cohen y Castillo-Oropeza, 2018).

Los hechos muestran que mientras la ciudad siga creciendo, las soluciones no son definitivas, el sistema para el control de avenidas es enorme y solo para mantenerlo en funcionamiento se requiere una gran capacidad eléctrica, así como inversiones cada vez más cuantiosas. Probablemente por la velocidad de crecimiento de urbanización, las

soluciones se han construido después de que se presentan las grandes inundaciones. (Domínguez, 2000).

Las inundaciones en la ZMCM (Zona Metropolitana de la Ciudad de México) no son un fenómeno que afecta de manera directa a un grupo social determinado, sino, dada la conformación compleja de este espacio socio territorial, estos fenómenos atentan contra un grupo diverso y heterogéneo. En las vialidades se concentra toda el agua que baja de las comunidades de la parte alta de la Sierra de Guadalupe, donde se registra el desbordamiento de las barrancas de San Andrés, Izcalli, Ecatepec y Tierra Blanca.

Las lluvias intensas producen un alto riesgo de inundación pluvial y si existen montañas, el agua producto de las lluvias pueden alcanzar valores extremos, ocasionando inundaciones que generan daños para la vida de las personas, sus bienes e infraestructura; pero además causan graves daños sobre el medio ambiente y el suelo de las terrazas de los ríos. (Alfie-Cohen y Castillo-Oropeza, 2018).

Un concepto fundamental de la hidrología urbana y el manejo de los recursos hidráulicos es el ciclo hidrológico, que también es conocido como el ciclo del agua.

La hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo los seres vivos. Así, la Hidrología Urbana es la disciplina que trata del agua en las ciudades, su ocurrencia, circulación, uso y distribución, sus propiedades físicas y químicas, su relación con los habitantes. Cuando ocurre una tormenta de precipitación cae sobre el terreno en cantidades que varían en magnitud e intensidad. La parte de la precipitación que no es interceptada por la vegetación, al llegar al suelo se infiltra o comienza a escurrir. La lluvia que se filtra es una pérdida de escurrimiento, aunque después puede ocurrir como descarga o drenaje de los suelos.

La urbanización modifica la respuesta hidrológica frente a una determinada lluvia, debido a la construcción de casas, calles, banquetas y estacionamientos que aumentan la impermeabilización, los efectos de la impermeabilización generan que la lluvia ya no sea infiltrada y por lo tanto el volumen de escurrimiento se incrementa, la superficie es más lisa, por lo que transporta más eficientemente el flujo y existe menos almacenamiento (Rodríguez, 2012).

El escurrimiento que originan las tormentas en las áreas urbanas tiene un impacto considerable en la población debido a su movimiento y almacenamiento temporal, daña las obras públicas y privadas, además de alterar o suspender las actividades económicas comunes. Otra afectación en el proceso hidrológico son los efectos de contaminación. Las

inundaciones ocasionan graves problemas sanitarios, que no solamente se presenta en el momento de la inundación, los daños a las viviendas dejan a la intemperie a sus ocupantes en condiciones nada favorables, mientras se realizan las tareas de salud pública de retirar el agua de la inundación, creando condiciones favorables para generar epidemias.

Las actividades que generan la contaminación del agua ocasionan graves problemas tanto superficiales como subterráneos. Se puede decir que el proceso de urbanización es causante de mayores volúmenes de escurrimiento, inundaciones y contaminación. Normalmente es común que los planes de desarrollo urbano de las ciudades no estén ligados a estudios hidrológicos que orienten para evitar zonas de inundación por falta de capacidad del sistema de drenaje ya sea natural o artificial.

Capítulo 3 “Los daños causados por fenómenos naturales que suceden en zonas urbanas”

El ambiente generado a partir de la apropiación del territorio, la creación y construcción de medios y formas de vida por el establecimiento de los asentamientos humanos sobre alguna región del planeta, es un escenario en el cual el ser humano se adapta a las condiciones geográficas y para lograr de forma imponente, transforma dicho territorio, que se resume en la transformación del paisaje natural, al propio de las ciudades, ya sea en un entorno rural o urbano.

La modificación y apropiación del territorio se han desarrollado con el paso del tiempo, por ejemplo, las formas del relieve geográfico que caracterizan al entorno donde antiguamente no estaban ubicadas las zonas urbanas, ha sufrido transformaciones con todo el conjunto de sus procesos naturales, que a su vez responden y actúan de forma dinámica y espontánea hasta antes de la intervención del hombre, siendo ese momento en el que ocurre este proceso de ocupación de territorio, modificación o transformación del lugar, donde el ser humano tiende a establecer su comunidad cerca de las fuentes naturales, para ubicarse en planicies y lugares que le brindan accesibilidad al desarrollo de sus actividades.

Vulnerabilidad y Susceptibilidad.

La vulnerabilidad ha sido estudiada desde diferentes enfoques. La vulnerabilidad es gradual y está delimitada por ciertas condiciones estructurales de los sistemas expuestos a ser dañados por el efecto de un fenómeno perturbador. Sucesos como terremotos, erupciones volcánicas, inundaciones e incendios son procesos naturales que han estado produciéndose en la superficie de la Tierra desde mucho antes de estar poblada por seres humanos. Estos procesos naturales se vuelven peligrosos cuando los seres humanos viven o trabajan en su entorno. (Keller, E. y Blodgett, R., 2004).

La vulnerabilidad son “las características de una persona o grupo y su situación, su capacidad de anticipar, lidiar, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza” (Wisner et al., 2004:11).

Los procesos son elaborados socialmente e inciden en la transformación de los territorios, que dan origen a la vulnerabilidad “Están relacionadas con los procesos económicos, demográficos y políticos, de tal forma que estos afectan la asignación y distribución de recursos entre diferentes grupos de personas” (Blakie et al., 1996.3).

El asentamiento de viviendas en zonas de preservación ambiental de los cuerpos de agua, aumenta la vulnerabilidad a que se presenten eventos de inundación, ya que dichas viviendas se pueden ver afectadas por el aumento del nivel en los cuerpos de agua, de la misma manera pueden afectar las márgenes de los ríos y quebradas por la realización de excavaciones no controladas para la cimentación de las viviendas y por el constante tránsito de todo tipo de vehículos.

La vulnerabilidad es más que una característica específica de determinados grupos sociales que viven en situaciones de precariedad social, es también una condición propia de su entorno natural, el cual recibe los embates de procesos económicos, demográficos y políticos.

Los procesos de desarrollo han definido la vulnerabilidad humana y los riesgos que preparan el terreno para los desastres. De tal manera que las actuales tendencias de desarrollo están definiendo los riesgos del futuro. Estas formas de desarrollo y ubicación geográfica hacen que algunos lugares sean más propensos al desastre y, por lo tanto, se presentan causas de injusticia ambiental (Alfie-Cohen y Castillo-Oropeza, 2018).

Riesgos Naturales.

Los riesgos naturales parten del hecho que en la superficie terrestre existen territorios de riesgo que denominan espacios cuya característica geográfica es la inadecuada ocupación del medio y son identificadas principalmente como áreas urbanas, haciendo que los riesgos naturales se abordan desde las cuestiones geográficas, sociales, ecológicas, históricas, es decir, tienen un carácter multidisciplinario y la que mejor los describe es la geográfica a partir del estudio de la peligrosidad natural y la vulnerabilidad social ante procesos naturales que pudieran ocurrir, al saturarse las áreas planas con el establecimiento de los asentamientos urbanos y comenzar a ocupar zonas de terrenos con pendientes pronunciadas, además si están propensas a sufrir deslaves o derrumbes, que causan daños a los habitantes de dichas zonas, a la infraestructura existente, a las viviendas, entre otros, y eso no fue previsto, ni considerado por las autoridades en materia de ordenamiento y planeación del territorio, convirtiéndose en zonas de riesgos, por el hecho de que existe la posibilidad de que se presenten estos eventos naturales en donde las afectadas son las personas de la zona (Olín, 2017).

Un riesgo natural es cualquier proceso que representa una amenaza para la vida humana o la propiedad, un proceso natural se convierte en un riesgo cuando amenaza los intereses

humanos. Los riesgos se pueden comprender como la probabilidad de que un peligro se convierta en un desastre, la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. En las últimas décadas, desastres naturales como terremotos, inundaciones y huracanes han provocado la muerte de varios millones de personas en este planeta. (Keller, E. y Blodgett, R., 2004).

Los peligros naturales son fenómenos geofísicos, sus características ponen en riesgo a diferentes poblaciones de nuestro planeta. Sin embargo, este tipo de peligros al combinarse con el resultado de la acción humana en un espacio y tiempo pueden dar lugar a desastres (Alfie-Cohen y Castillo-Oropeza, 2018). La mayor parte de los procesos internos se explican por la teoría de tectónica de placas, una de las teorías básicas y unificadoras de la ciencia, las placas tectónicas que son bloques de gran superficie de la Tierra sólida, se trazan identificando zonas de terremotos y volcanes activos.

Otros procesos asociados con los riesgos naturales son el resultado de fuerzas externas en la superficie de la Tierra o muy cerca de ella. Además otros procesos externos, tales como desprendimientos de tierras, son el resultado de la acción de la gravedad en laderas de colinas y montañas. Los procesos que se consideran peligrosos son el resultado de fuerzas naturales tales como el calentamiento interno de la Tierra o de la energía externa del Sol. La energía liberada en procesos naturales varía enormemente. (Keller, E. y Blodgett, R., 2004).

Dentro de los riesgos naturales existen diferentes categorías que tienen sus variaciones al entrar en combinación con el ambiente que nos rodea:

- Riesgos extraterrestres, se les conoce como variaciones en las tasas de radiación solar, tormentas solares, viento solar, e impacto de meteoritos.
- Riesgos atmosféricos, que comprenden los riesgos meteorológicos que incluyen: heladas, olas de calor, granizadas y fenómenos climáticos que se relacionan con la variación del cambio climático.
- Riesgos hidrológicos, son conocidos por el exceso de agua (inundaciones) o déficit de la misma (sequías).
- Riesgos geológicos, son tanto de origen interno en la Tierra (endógenos), o externos en su superficie (exógenos).
- Riesgos geológicos internos o endógenos, con origen en el interior de la Tierra: volcánicos, sísmicos (terremotos y tsunamis)
- Riesgos geológicos externos o exógenos, con origen en la superficie terrestre o sus proximidades: movimientos de ladera, crecidas y avenidas, aludes de nieve, erosión de suelos, litorales y costeros, glaciares, periglaciares

- Riesgos geológicos litológicos, asociados no a un proceso, sino a la existencia de un determinado tipo de roca y/o mineral, radioactividad natural y radón.
- Riesgos biológicos, que comprenden plagas, epidemias, e incendios forestales, entre otros. A su vez, los riesgos naturales geológicos, se suelen dividir según el origen del proceso geológico potencialmente desencadenante del riesgo.

Los efectos de los riesgos naturales cambian con el tiempo al cambiar los patrones de utilización de la tierra. El riesgo se construye socialmente, lo que implica discutir cómo se presenta la producción y reproducción de determinadas condiciones de vulnerabilidad socio ambiental a partir de la toma de decisiones y la acción de determinados grupos sobre y en el territorio que, junto con las amenazas naturales, incrementan o no el riesgo de desastre. Los factores de riesgo son considerados por su peligrosidad, exposición y vulnerabilidad. (Olín, 2017).

El crecimiento urbano puede influir en que la gente se asiente en tierras marginales como laderas abruptas y llanuras con peligro de inundación, esto genera un problema en especial en zonas que rodean las principales ciudades de los países en desarrollo, en donde la urbanización puede transformar también las propiedades físicas de los materiales del suelo al influir en el drenaje, alterar la forma de las laderas y la eliminación de vegetación. (Keller, E. y Blodgett, R., 2004).

Riesgos por inundación.

Los riesgos por inundación se consideran un peligro natural, y a veces un desastre, pero es un proceso natural de una crecida que sobrepasa las orillas. Se convierte en un riesgo cuando las personas viven o construyen estructuras en la llanura de inundación o intentan atravesar un río desbordado. Estas también tienen un lado positivo pues las inundaciones periódicas proporcionan sedimento fértil para el cultivo, tienen ventajas para los ecosistemas acuáticos y en algunas ocasiones ayudan a mantener la tierra por encima del nivel del mar. (Keller, E. y Blodgett, R., 2004).

En esta investigación el riesgo por inundación se presenta porque es muy probable que resulte afectada la población, primero por la pérdida de vidas y después por los daños o afectaciones en viviendas, vías de comunicación, el entorno natural y el construido, donde el factor de peligrosidad es la posibilidad que durante el proceso natural de una precipitación muy intensa o prolongada, los niveles de agua pluvial superen los habituales y así provocando la inundación en la zona de estudio (Olín, 2017).

Los peligros naturales han jugado un papel importante en el desarrollo de las sociedades y las culturas. Siempre han representado una amenaza para el hombre y sus bienes, y en la mayoría de los casos han conducido a desastres catastróficos.

La actividad humana afecta enormemente el peligro de inundaciones en las zonas urbanizadas, pues la adicción de zonas pavimentadas, edificios y alcantarillas generan cambios en la superficie de terreno. En casi todas las zonas urbanas, las alcantarillas comienzan en sumideros a los lados de las calles y llevan la escorrentía a los cauces de los arroyos con mucha más rapidez que en entornos naturales. Las inundaciones son función de la relación entre la lluvia y escorrentía que cambia apreciablemente con la urbanización, sin embargo, la extensión de las inundaciones urbanas está relacionada no solo con el caudal máximo de una inundación sino también con las condiciones del drenaje (Keller, E. y Blodgett, R., 2004).

Desastres.

Los desastres ocurren en todo el mundo. Sin embargo, su impacto es mayor en los países en desarrollo. La ocurrencia de desastres se debe a dos factores principales, en primer lugar, existe una correlación entre la ubicación geográfica y las condiciones geológicas-geomorfológicas, pues muchos países están localizados en zonas afectadas por la actividad volcánica, sismicidad o inundaciones, la segunda razón está ligada al desarrollo histórico donde las condiciones económicas, sociales, políticas y culturales no son las más adecuadas. Si unimos estos dos factores, podríamos argumentar que hay una relación directa entre desarrollo y riesgo y, por tanto, entre igualdad y justicia ambiental (Alfie-Cohen y Castillo-Oropeza, 2018).

Un desastre es un evento calamitoso, repentino o previsible, que trastorna seriamente el funcionamiento de una comunidad o sociedad y causa unas pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales que desbordan la capacidad de la comunidad o sociedad afectada, gran parte de la responsabilidad de los daños en grandes desastres se debe al hombre, quién ha crecido en forma explosiva de espaldas a la naturaleza, sin tener en cuenta las restricciones del medio natural y olvidando la historia reciente. Es la historia la que puede establecer cómo se ha desarrollado la interacción entre el medio ambiente y la sociedad en una región, haciendo a esa sociedad más susceptible a sufrir desastres naturales.

Desastres Naturales

Los desastres deben ser entendidos desde su origen como sucesos humanos y sociales, que involucran los procesos de transformación en la naturaleza y la actividad humana, que

genera un ambiente combinado de la parte natural y social, donde el desarrollo de algún evento afectará al otro y viceversa (Olín, 2017).

Un desastre 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, es decir, cuando la interacción entre los seres humanos y un proceso natural tiene como resultado un daño considerable en la propiedad, heridas o pérdida de vidas, suceden debido a los cambios repentinos y violentos del medio ambiente, producto de accidentes ambientales que no son ocasionados directamente por la mano del hombre. Los fenómenos sí que son naturales, pero los desastres se producen por la acción del hombre en su entorno. (Keller, E. y Blodgett, R., 2004).

Se cataloga como desastre dado que las condiciones ambientales se van a los extremos, superando los límites de lo tenido por normal lo que muy probablemente ocasionará muertes, destrucción y cambios estructurales en la superficie terrestre. Los desastres naturales se interpretan como los daños causados por un huracán, un tornado, inundaciones, incendios forestales, erupciones volcánicas o terremotos (Equipo Editorial, 2021).

La gestión de la reducción del riesgo implica no solo reducir la vulnerabilidad o mitigar las amenazas, sino también plantearse y tomar decisiones colectivas sobre los niveles y formas de riesgos que se pueden asumir como aceptables en un periodo determinado, pero, además plantear los cambios que deben impulsarse para evitar las consecuencias que podría tener la ocurrencia del daño al que está propensa la sociedad, la localidad o la comunidad.

El territorio nacional de México se encuentra sujeto a gran variedad de procesos naturales que pueden causar desastres, por ser parte del Cinturón de Fuego del Pacífico, el país es afectado por una fuerte actividad sísmica y volcánica, además la ubicación del país en una región intertropical, lo hace sujeto a los embates de huracanes que se generan tanto en el Océano Pacífico como en el Atlántico y cuyos efectos causan las lluvias intensas generando inundaciones y deslaves no solo en las costas sino también en el interior del territorio, por otro lado, también se detectan desastres antrópicos que se generan directamente por las actividades humanas y principalmente por la actividad industrial que implica frecuentemente el manejo de materiales peligrosos. (Alfie-Cohen y Castillo-Oropeza, 2018).

Capítulo 4 “Las lluvias intensas y las inundaciones que afectan a la CDMX y área metropolitana”

Las afectaciones del cambio climático, son cada vez más recurrentes y con ello el riesgo y la peligrosidad ha aumentado, las afectaciones no solo se dan en zonas marginadas o con un alto índice de vulnerabilidad, el riesgo es inminente para todos los sectores de la población, por lo cual, es necesario identificar los territorios con mayor susceptibilidad a las inundaciones. El problema en el Valle de México es añejo, hasta ahora se ha tratado de resolver los problemas de inundaciones sin frenar el crecimiento de la ciudad.

El glosario internacional de hidrología define a la inundación como la elevación generalmente rápida, del nivel de agua de un curso, hasta su máximo a partir del cual dicho nivel desciende a una velocidad menor. (OMM/UNESCO, 2012).

La presente investigación sobre las inundaciones se da a partir del concepto de riesgo, y este es derivado de los desastres, referido a un riesgo natural provocado por el desarrollo de eventos naturales en los que puede resultar afectado el ser humano y el entorno construido o parte de este.

Condiciones geográficas de la CDMX y área metropolitana.

Las características del terreno y su medio ambiente determinan las condiciones físicas que comparten todos los seres vivos y que soportan las actividades desarrolladas en este espacio geográfico. Estos procesos de la naturaleza y del hombre sobre su entorno, así como sus efectos, requieren ser ubicados espacialmente, para lo cual es de gran ayuda su referencia, así como el conocimiento de la geografía del territorio y sus características.

México cuenta con una zona megalópolis que se encuentra en la región central del país y está integrada por la Ciudad de México, el Estado de México, Puebla, Morelos, Querétaro y Tlaxcala. Durante las tres últimas décadas esta zona urbana (la más grande del país) ha tenido un gran crecimiento que obedece tanto a factores económicos como a la fuerte tendencia hacia el centralismo que caracteriza a México, concentrando algunas de sus áreas económicas más importantes en la Zona Metropolitana del Valle de México.

La dinámica del crecimiento de la megalópolis ocasiona un gran impacto en las problemáticas que competen a esta mancha urbana. La pérdida de zonas agrícolas provocadas por la expansión urbana, así como los gases y vapores de gasolina que se emiten durante la combustión por el escape de los automóviles, o bien, las emisiones extraordinarias de festividades al realizar fogatas y juegos pirotécnicos, son actividades

humanas cuyos efectos son acumulativos y aumentan de manera significativa los impactos negativos de la contaminación atmosférica en la población que habita y/o transita la zona, sumándole los efectos que tiene el cambio climático sobre nuestro país, en particular sobre su región central, como cambios en el clima, en la temperatura, en los vientos, en la estabilidad de la atmósfera y en las emisiones, tanto antropogénicas como biotécnicas.

Características de la CDMX y área metropolitana.

La ciudad de México tiene una superficie de 1,485 kilómetros cuadrados. La población de la capital es alrededor de 8.8 millones de habitantes, la capital en conjunto con su zona conurbana suman más de 21 millones de habitantes, lo que la convierte en la quinta aglomeración urbana más grande del mundo y en la más grande del continente americano.

La ZMCM, definida por el INEGI para fines geo estadísticos, está conformada por las 16 alcaldías y 34 municipios conurbados del Estado de México, ubicándose en el centro sur del Valle de México.

El sistema de mayor cobertura de nombre llanura, ocupa el 35.8% de la ZMCM, en donde se localiza la mayoría de las alcaldías de la Ciudad de México y algunos municipios del Estado de México. El 60% del área es ocupada por la zona urbana, el resto se utiliza en agricultura.

Orografía.

El relieve de la Ciudad de México por encontrarse al sur del Valle de México es mayoritariamente plano, pero presenta algunas elevaciones de tipo montañoso donde se distinguen las cadenas volcánicas con la providencia de mayor extensión que es el Eje Volcánico y subprovincias de las llanuras y sierras.

Gran parte de la ZMCM presenta alturas promedio que van desde los 2,240 msnm, hasta poco más de 4,000 msnm, siendo el punto más alto el cerro del Ajusco con 3,930 msnm y el más bajo en la región norte de la entidad con 2,240 msnm, en sus partes planas. Se ubica en la parte sur de la sierra La Muerta (Tepotzotlán), al oeste de la sierra Nevada, al norte de la sierra Ajusco-Chichinautzin, y al este de la sierra Las Cruces, sin embargo dentro de la ciudad encontramos sierras bajas y cerros aislados, entre lo que se pueden mencionar la sierra de Santa Catarina, sierra de Guadalupe, cerro de Chapultepec, cerro de la Estrella, entre otros.

La sierra cubre el 47.10% de la superficie de la entidad, la llanura el 45.03%, el escudo volcánico el 0.90%, el lomerío el 6.42% y la meseta el 0.55%

Geología y geotecnia.

La ZMCM se encuentra formada en su totalidad por rocas de la era Cenozoica en la que hubo predominancia de rocas volcánicas extrusivas, las cuales formaron las sierras que

componen el Eje Volcánico Transversal. Las rocas ígneas extrusivas afloraron durante los periodos Terciario y Cuaternario, compuestas por la lava que alcanzó a salir del volcán, se enfrió y se solidificó sobre la superficie terrestre. Estas rocas dan forma a las sierras que enmarcan a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

La principal problemática geotécnica de la Ciudad de México reside en su alta sismicidad como en el hecho de que se asienta sobre suelos blandos, lo que provoca que la ciudad se hunda unos 10cm aproximadamente cada año, lo que parece ser imperceptible, pero dista mucho de ser insignificante a largo plazo y genera numerosos problemas relacionados con el terreno.

El hundimiento de la Ciudad se debe a que esta se encuentra construida encima de los sedimentos del lago de Texcoco y de tres capas de restos de civilización: la prehispánica, la colonial y la moderna. Por lo tanto, la capacidad de resistencia del suelo es baja, a esto hay que sumarle la sobreexplotación de los acuíferos, de donde se extrae el 70% del agua del consumo humano.

Climas.

Los factores que intervienen en los diferentes tipos de climas son la distancia de una fuente de humedad (océanos, ríos, lagos, etc.), las barreras orográficas, la altitud, la latitud y la exposición geográfica.

De esta forma la ZMCM, que se encuentra a más de 400 km de la fuente de humedad más cercana y enclavada entre sierras altas, presenta seis tipos de climas que van desde los semisecos hasta los semifríos. El clima predominante es templado subhúmedo con lluvias en verano y temperatura mediante 10° y 16°C con precipitación anual entre 500 y 1,500mm y el clima semiseco templado con lluvias en verano se presenta desde las partes bajas de la ciudad, hasta el norte con una temperatura anual de entre 12° y 16°C y una precipitación total anual menor a 600mm.

Vegetación y agricultura.

En la actualidad la vegetación está muy deteriorada, lo que ha llevado a la creación de zonas de protección para las áreas verdes, como lo son los parques nacionales, estatales y municipales, reservas ecológicas, zonas forestales de repoblación y reservas forestales. Los árboles y vegetación que se encuentran en la ciudad conforman el bosque urbano, de los cuales sus principales componentes son el arbolado de alineación, que se ubica a lo largo de banquetas, avenidas y camellones. Así como las áreas verdes dentro de las que destacan los parques, jardines, glorietas y otros espacios abiertos que existen en la ciudad.

El bosque urbano tiene una gran importancia ecológica y social, por lo general obedece a los gustos y exigencias del ser humano al momento de su establecimiento, generando una calidad ambiental de las manchas urbanas.

Los usos de suelo que predominan en la Zona Metropolitana se clasifican en Bosques, Pastizales, Matorrales, Agricultura y Zona Urbana. En particular a la agricultura las tierras de temporal son las que ocupan mayor superficie, se localizan desde las llanuras hasta las altas sierras. En ellas se siembra principalmente cultivos anuales y permanentes, existiendo cada vez menos áreas de cultivos semipermanentes.

La hidrología del medio urbano.

Un concepto fundamental de la hidrología urbana y el manejo de los recursos hidráulicos es el ciclo hidrológico, también conocido como el ciclo del agua. Entre sus diferentes definiciones se entiende como ciclo hidrológico al modelo conceptual que describe el almacenamiento y circulación del agua en la biosfera, atmósfera, litosfera e hidrosfera. El agua puede ser almacenada en los océanos, lagos, ríos, suelos, glaciares, nevados y acuíferos. La circulación entre estos depósitos o almacenamientos es causada por procesos como: evapotranspiración, condensación, precipitación, infiltración, percolación y escurrimiento, los cuales son denominados componentes del ciclo hidrológico.

De acuerdo con la definición del Federal Council for Science and Technology (1962), la hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación, y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas, físicas y su relación con el medio ambiente, incluido los seres vivos. Así, la hidrología urbana es la disciplina que trata el agua de las ciudades. (Rodríguez, 2012).

El país se encuentra dividido en 37 regiones hidrológicas, las cuales tuvieron como base la orografía y la hidrografía de la República Mexicana. En particular las regiones hidrológicas que delimitan la ZMCM son las sierras que se encuentran al norte, sur y este del territorio.

Una región hidrológica es un área que por su relieve y escurrimiento superficial presenta características similares en su drenaje. Para la ZMCM la región Pánuco es la principal y la que ocupa la mayor superficie de terreno con 94.6%, Balsas con el 5% y Lerma Santiago con 0.3%, ubicadas hacia el sur y suroeste respectivamente.

Dentro de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México existen cuerpos de agua importantes, Lago de Zumpango ubicado al norte, la presa de Guadalupe, ubicada al noroeste y el Lago Nabor Carrillo ubicado al este.

Cuando ocurre una tormenta la precipitación cae sobre todo el terreno en cantidades que varían en magnitud e intensidad. La parte de la precipitación que no es interceptada por la

vegetación, al llegar al suelo se infiltra o comienza a escurrir. La lluvia que se infiltra es una pérdida de escurrimiento, aunque después puede aparecer como drenaje de los suelos. El flujo sobre el terreno llega a los riachuelos y estos posteriormente forman los cauces secundarios los cuales finalmente definen el colector principal de la cuenca.

Entre más vegetación tiene una cuenca, más atenuación ocurre en el flujo sobre el terreno y en los cauces.

Los sistemas de alerta temprana tienen como objetivo informar a las comunidades expuestas a daños por fenómenos hidrometeorológicos, para que con anticipación a la ocurrencia de sus efectos más severos las personas se alejen de las zonas de peligro y se emprendan acciones para reducir las pérdidas materiales que pudieran provocar (Rodríguez, 2012).

El subsistema de medición y procesamiento hidrológico estima los escurrimientos que producirá la lluvia en una región, en los minutos u horas posteriores a la ocurrencia de esta última, para advertir del peligro que podría generarse en algunas zonas de una ciudad. Su objetivo es calcular, de preferencia con base en mediciones de lluvia o niveles de agua en cauces, los eventos que causan daños (escurrimiento, flujos de lodo, etc.) para que se actúe anticipadamente con la intención de disminuir sus consecuencias, este subsistema se apoya en un estudio de ingeniería que permite obtener la magnitud de los efectos de la lluvia en las zonas que podrían sufrir mayores daños (Rodríguez, 2012).

Un sistema de alerta hidrometeorológica está basado en un conjunto de estaciones pluviométricas e hidrométricas, ubicadas en diferentes cuencas hidrográficas en que se divide la región de estudio (Imagen 6). Estas estaciones miden la precipitación acumulada, la intensidad de la lluvia y los niveles de los cauces y envía la información vía radio a un puesto central de registro (Imagen 7). Allí se procesan los datos con los modelos lluvia-escurrimiento para estimar los escurrimientos esperados en las zonas vulnerables y los pronósticos de los de los tiempos de ocurrencia de los niveles críticos en los cauces. Al rebasar ciertos umbrales establecidos, se activan alarmas indicando a los usuarios sobre el peligro de la posible ocurrencia de flujos e inundaciones que pudiesen provocar daños a una cierta área de la cuenca y con esto poder poner en marcha un plan de emergencia previamente establecido (Rodríguez, 2012).

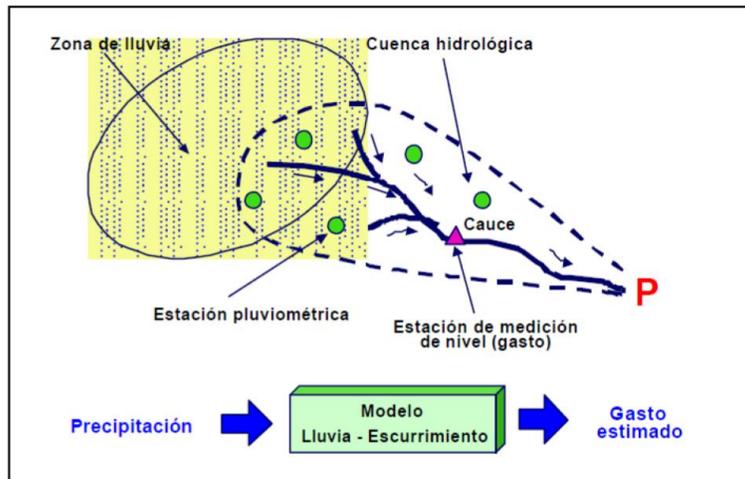


Imagen 6. Medición del fenómeno hidrometeorológico. Fuente: Rodríguez, 2012

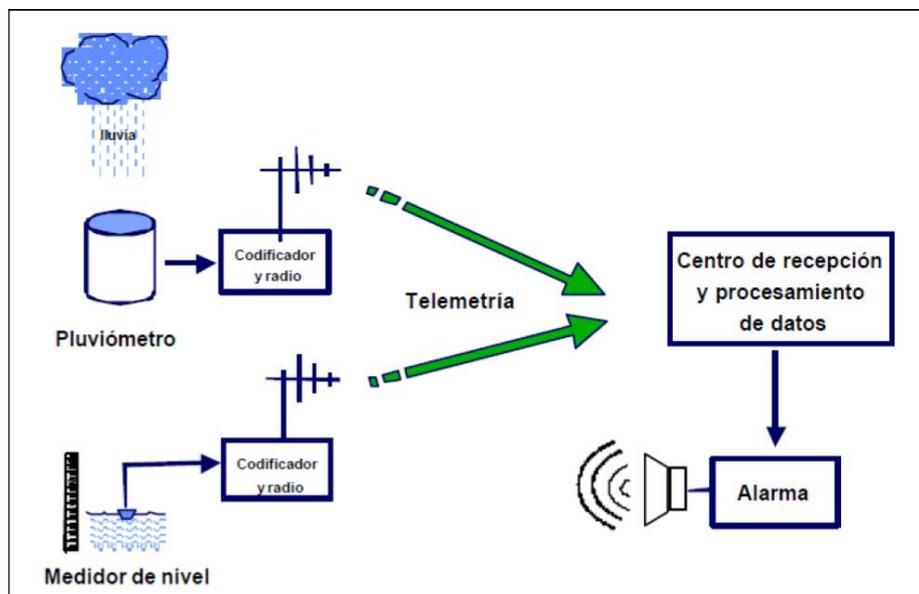


Imagen 7. Sistema de medición y alerta. Fuente: Rodríguez, 2012

La urbanización de una cuenca modifica la respuesta hidrológica frente a una determinada lluvia, debido a la construcción de casas, calles, banquetas y estacionamientos que aumentan la impermeabilización, lo que conlleva a la alteración de las redes de drenaje natural. La urbanización aguas arriba modifica el hidrograma que reciben estas zonas, de forma que incrementan el volumen de escurrimiento y el caudal máximo.

Otro efecto de la urbanización son las invasiones de los cauces naturales y sus planicies de inundación, la deforestación de dichas cuencas y la sobreexplotación de acuíferos. Lo que ocasiona graves problemas relacionados con las inundaciones, ya que normalmente se asocia con la pérdida de capacidad de drenaje natural y artificial debido al hundimiento de las ciudades, el escurrimiento en áreas urbanas tiene un fuerte impacto en la población, debido a su movimiento y almacenamiento temporal, daña las propiedades públicas y privadas, además de alterar o suspender las actividades económicas comunes (Domínguez, 2000).

Otra afectación en el proceso hidrológico es la contaminación. Las inundaciones provocan graves problemas sanitarios. Los daños o destrucción de las viviendas dejan a la intemperie a sus ocupantes, a veces en condiciones climáticas que distan mucho de ser favorables, en el mejor de los casos se tienen albergues en centros de emergencia para el alojamiento en masa, procurando evitar la generación de epidemias entre la comunidad.

Se puede determinar que el proceso de urbanización es causante de mayores volúmenes de escurrimiento, inundaciones, contaminación, disminución de la recarga de acuíferos y alteraciones en la ecología de las corrientes (Domínguez, 2000).

Para calcular el escurrimiento que produce la lluvia efectiva se pueden utilizar distintos procedimientos. Uno de ellos es el método del hidrograma unitario instantáneo. El cual es un hidrograma de escurrimiento que se produce a la salida de la cuenca, debido a una lluvia de un milímetro, uniforme en toda la cuenca, durante un cierto tiempo. En el componente de telemetría y procesamiento hidrológico se considera un intervalo de tiempo (Δt). Como la lluvia suele tener una duración de varios intervalos de tiempo (Δt), es necesario sumar los histogramas producidos por la lluvia de cada intervalo, de manera que la suma de estos efectos de cómo resultado el escurrimiento producido en toda la cuenca (Rodríguez, 2012).

Principales factores causantes de las inundaciones en la CDMX y área metropolitana.

Normalmente es común que los planes de desarrollo urbano en las ciudades no estén ligados a estudios hidrológicos que orienten para evitar zonas de inundación por falta de capacidad del sistema de drenaje ya sea natural o artificial.

Las inundaciones generan un impacto en múltiples niveles, y terminan afectando no solo el medio ambiente sino también las economías locales y nacionales. El cambio de uso de

suelo es el detonante para la proliferación de las industrias y paralelamente la edificación masiva de unidades habitacionales.

Las inundaciones son resultado de simples eventos incontrolados de la naturaleza o producto de fallas hidráulicas, que en realidad son fenómenos socio-ambientales con un trasfondo político-económico, donde quedan al descubierto las relaciones del poder y la carencia de redes de comunicación, espacios deliberativos y empoderamiento para la toma de decisiones (Alfie-Cohen y Castillo-Oropeza, 2018).

Factor natural.

Las urbanizaciones generan modificaciones a la dinámica natural del escurrimiento superficial, lo que lleva a una redefinición del concepto de cuenca, ya que se ven alteradas por la presencia de pavimentos, espacios verdes y escurrimientos subsuperficiales artificiales. Pero a su vez la dirección de flujo sigue estando influenciada por la topografía natural, es por ello que para analizar el escurrimiento superficial de áreas urbanas se deben tener en cuenta aspectos naturales y artificiales de la red de drenaje (Linares, 2016). Las causas del crecimiento urbano, el deterioro ambiental en la zona metropolitana del valle de México, los procesos de poblamiento y la actividad industrial son las problemáticas más recurrentes para que los cambios naturales se vuelvan tan peligrosos.

Factor social.

La urbanización modifica la respuesta hidrológica frente a una determinada lluvia, debido a la construcción de casas, calles, banquetas y estacionamientos que aumentan la impermeabilización, los efectos de la impermeabilización generan que la lluvia ya no sea infiltrada y por lo tanto el volumen de escurrimiento se incrementa, la superficie es más lisa, por lo que transporta más eficientemente el flujo y existe menos almacenamiento (Rodríguez, 2012).

El desafío frente al riesgo-desastre implica la toma de conciencia, el análisis y la consideración de opciones y prioridades en términos de reducción del riesgo; el conteo de recursos disponibles; el diseño de estrategias e instrumentos necesarios para enfrentar la amenaza; así como la negociación, deliberación de acciones y la toma de decisiones para lograr un nuevo abanico de posibilidades para conseguir la resiliencia local. También es posible que las autoridades ordenen la suspensión de actividades educativas, laborales o recreativas, lo cual impacta directamente en la calidad de vida de las personas.

Es importante la percepción que la comunidad tenga sobre los riesgos como las condiciones materiales y, en este sentido, la comunicación y la educación son campos

fundamentales en la generación de conciencia mediante el conocimiento y la comprensión de lo que sucede o podría suceder. El mejor plan de emergencias o la más calificada propuesta de ordenamiento territorial no tienen mayor sentido si los riesgos no están asumidos socialmente; es decir, si las personas no consideran la posibilidad de ser afectadas y no incorporan la dimensión de riesgo a sus decisiones cotidianas.

La comunicación es un componente fundamental para la socialización de la gestión de riesgos y su objetivo debe de ser garantizar que los distintos actores y sectores tengan acceso oportuno a la información necesaria para participar en las decisiones acciones; tanto en la prevención como en la respuesta y la recuperación frente a emergencias o desastres.

El escurrimiento que originan las tormentas en las áreas urbanas tiene un impacto considerable en la población debido a su movimiento y almacenamiento temporal, daña las obras públicas y privadas, además de alterar o suspender las actividades económicas comunes.

En definitiva, se trata de generar y fortalecer una cultura de prevención o bien de incorporar la prevención a la cultura local mediante la consolidación de la ciudadanía en el más amplio y democrático sentido del término.

Factor económico.

Las actividades industriales, locales, entre otras que se relacionan con la parte económica de la sociedad, está muy ligada y relacionada con la contaminación de agua ocasionando graves problemas tanto superficiales como subterráneos. Se puede decir que el proceso de urbanización es causante de mayores volúmenes de escurrimiento, inundaciones y contaminación.

El enfoque de la gestión de la reducción de riesgos permite un proceso social complejo a través del cual se pretende lograr una reducción de los niveles de riesgo existentes en la sociedad y fomentar procesos de construcción de nuevas oportunidades de producción y asentamiento en el territorio en condiciones de seguridad y sustentabilidad, avalados por los propios residentes-ciudadanos, a partir de la toma de decisiones conjuntas, que permitan el aprovechamiento de los recursos naturales y del ambiente , así como desarrollar condiciones de seguridad dentro de los límites posibles y aceptables.

Factor político.

En México el apoyo político ante las inundaciones y diferentes desastres naturales, debería de actuar de manera directa, pues la población es seriamente afectada a

consecuencia de los distintos problemas o circunstancias que pudieran presentarse en las diferentes zonas de la CDMX y área metropolitana. Pero cada temporada de lluvias sucede lo mismo: el sistema de drenaje se satura provocando encharcamientos, inundaciones y el desquicio de sus habitantes. (Rodríguez, 2017).

El gobierno propone diversas alternativas para evitar las inundaciones desde obras de infraestructura, hasta la instalación de sistemas de capacitación de aguas de lluvias, que podrían ayudar a resolver el problema de la escasez de agua en temporada de sequías.

Evaluación de daños directos e indirectos debido a las inundaciones en el área metropolitana de la CDMX y área metropolitana.

El almacenamiento y potencial uso del recurso hídrico significa un alivio tanto para el sistema de drenaje como para el agua potable. No tener que bombear agua para abastecer la Ciudad de México, representa beneficios importantes para la ciudad, como la disminución de inundaciones, encharcamientos y permitir la recarga de mantos acuíferos. Evitar la sobreexplotación de los mantos acuíferos es vital para la sustentabilidad hídrica de la ciudad. (Rodríguez, 2017).

Las inundaciones pueden causar daños estructurales considerables, afectando viviendas, locales comerciales y cultivos. Todo esto tiene un impacto negativo en la economía local, lo que su vez desmejora las condiciones de vida de las personas afectadas, pues las consecuencias de viviendas en un suelo poco apto, de mala calidad en infraestructura hidráulica, construcción con materiales de mala calidad, en la mayoría de los casos, las inundaciones provocan que los vecinos decidan mudarse o contratar seguros para reponer lo perdido. Sin embargo, en la medida que aumenta el deterioro material de los hogares, crece la cantidad monetaria necesaria para resarcir el daño. La idea de cambiarse de residencia, debido a las malas condiciones en las que quedan las viviendas (Alfie-Cohen y Castillo-Oropeza, 2018).

En la zona urbana de la CDMX cada año caen en promedio poco menos de 600 millones de metros cúbicos de agua, esto es 2.1 veces el volumen promedio suministrado anualmente por el Sistema Cutzamala, el cual representa el 21% del suministro que recibe la ciudad. Se puede comparar la precipitación promedio con la registrada en las diferentes estaciones meteorológicas distribuidas a lo largo de la CDMX e identificar diferencias muy notorias e importantes para poder comparar las zonas que existen en la capital del país. (Rodríguez, 2017).

Problemas sanitarios.

El sector salud reconoce una importante vulnerabilidad al cambio climático y debe trabajar principalmente en acciones preventivas, como el aumento de las coberturas en saneamiento básico y en el fortalecimiento de la vigilancia de las enfermedades que puedan modificar su distribución en función de los cambios de temperatura y humedad. El rápido cambio de las condiciones del medio donde reside la población altera en general el modo de vida. Esto puede ocasionar estados de tensión y trastornos en la salud.

A menudo después de las inundaciones la población tiene que vivir hacinada y en malas condiciones de higiene, lo cual conlleva riesgos de epidemia y pueden generar focos de enfermedades como el dengue, enfermedades infecciosas, dermatológicas, trastornos digestivos, etc.

Las inundaciones no producen nuevas enfermedades, pero al alterar las condiciones ambientales pueden dar raíz a la intensificación de la transición de enfermedades ya existentes en una región.

En las zonas más desfavorecidas, este tipo de situaciones empeoran las ya precarias condiciones de los sistemas de salud locales, al colapsar su capacidad de atención. (Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable, 2015).

La presencia de las inundaciones en la periferia de la metrópolis de México es un fenómeno cada vez más recurrente. El enfoque de la justicia ambiental por inundación puede ayudar a problematizar los factores que provocan la vulnerabilidad socio ambiental, así como la exposición al riesgo y la emergencia de distintos fenómenos existentes (Alfie-Cohen y Castillo-Oropeza, 2018).

Problemas sociales.

Las inundaciones pueden generar modificaciones ligeras, moderadas o severas en la topografía afectada. Estos cambios en el terreno pueden ser parte de dinámicas naturales o de la actividad humana, y pueden afectar los ecosistemas locales. El despliegue de las industrias y nuevas viviendas en el territorio ha ocasionado la transformación de los ecosistemas locales, las aguas residuales presentan altas cargas químicas que desembocan por los desagües sin tratamiento alguno y cuando las lluvias llegan, sus aguas suben el nivel de los arroyos, ríos y se desbordan generando las inundaciones en la zona.

Para poder reducir las consecuencias provocadas por las inundaciones se recomienda cuidar y proteger los bosques, no deforestar. Los bosques juegan un papel esencial, ya que estos actúan como reservorios de agua y con ellos no se sobrecarga el caudal de los ríos. Estar pendientes de la información del Servicio Meteorológico, ya que nos permite

estimar cuánto tiempo duran las lluvias y la probable intensidad de las mismas. En muchas oportunidades se puede saber con antelación el momento en que se va a inundar la comunidad y en consecuencia disponer de tiempo para prepararse (Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable, 2015).

En los casos más graves, las inundaciones pueden generar pérdidas humanas o heridos de gravedad. Además, este tipo de eventos puede inducir desplazamientos poblacionales forzados, como una forma de solucionar la pérdida de la vivienda o de la fuente de trabajo.

Las inundaciones generan también algunos efectos indirectos importantes que son difíciles de identificar e imposibles de cuantificar. Son efectos “intangibles” como el sufrimiento humano, la inseguridad, el sentimiento de admiración o de rechazo por la forma en que las autoridades han enfrentado las consecuencias del desastre, la solidaridad, la participación desinteresada y muchos otros factores del mismo tenor que inciden en el bienestar y la calidad de la vida.

Los programas de comunicación y participación van acompañados generalmente con una lista de verificación la cual establece puntos de revisión de cómo es la forma de actuar antes, durante y después, en una inundación. La guía de prevención de desastres que elaboró CENAPRED consiste en:

Cómo prepararse con anticipación:

Evitar las áreas comúnmente sujetas a avenidas de agua o a inundaciones repentinas, no construir en terrenos susceptibles de ser afectados por inundación o desbordamiento de ríos, ni en las riberas u otros cauces de agua, aunque estén secos.

Si vive en zonas donde ya han ocurrido inundaciones:

Estar pendiente de las señales de aviso, alarma y emergencia, mantenerse informado, empacar los documentos personales (actas de nacimiento, escrituras, cartillas, CURP, etc.) en bolsas de plástico bien cerradas y en morrales o mochilas que pueda cargar, de tal manera que le dejen libre los brazos y manos, tener disponible un radio portátil, lámparas de pilas y un botiquín de primeros auxilios.

Si se emite un llamado de ALERTA de lluvias intensas:

Si se dispone de tiempo suficiente, limpiar la azotea y desagües, así como la calle para que no se tape el drenaje con basura, guardar objetos sueltos que puede lanzar el viento, si se tiene vehículo, asegurar que este en buen estado, procurar un lugar para resguardar a los animales y mascotas, no dejar solos a los niños. Si se llegara hacer, informar a los

vecinos, seguir las indicaciones de las autoridades, preparándose para evacuar en caso necesario. Si las autoridades indican evacuar el área y/o casa donde se habita, (¡hágalo!).

Si la alternativa es quedarse en casa:

Conservar la calma, tener a la mano artículos de emergencia, mantener el radio encendido para recibir información e instrucciones de fuentes oficiales, cubrir con bolsas de plástico aparatos u otros objetos que puedan dañarse con el agua.

En caso de emergencia:

Desconectar los servicios de luz, gas y agua, cerciorarse de que su casa quede bien cerrada, seguir instrucciones de las autoridades o bien dirigirse de inmediato a los lugares o refugios, de quedar atrapado, si se quedara aislado, subir al lugar más alto posible y espere a ser rescatado, no cruzar ríos, ni a pie, ni en vehículos, la velocidad del agua puede ser mucho mayor de lo que se puede suponer, retirarse de casas, árboles y postes que pudieran ser derribados, tener cuidado con los deslaves, evitar caminar por zonas inundadas, considerar que se puede golpear con los árboles, piedras u otros objetos que pueden ser arrastrados.

Después de la contingencia:

Conservar la calma, seguir las instrucciones transmitidas por las autoridades a través de los medios de comunicación, reportar inmediatamente sobre los posibles heridos a los servicios de emergencia, cuidar de los alimentos, que estén limpios, no comer nada crudo ni de procedencia dudosa, beber el agua potable que se almacenó, si es posible hervir o desinfectar con gotitas de cloro que se venden expresamente para ello, limpiar cualquier derrame de medicinas, sustancias tóxicas o inflamables, si su casa no sufrió daños, permanecer en ella, mantener desconectados los servicios de gas, luz y agua hasta que se esté seguro que no se hayan sufrido daños, cerciorarse de que los aparatos eléctricos estén secos antes de conectarlos, no divulgar ni haga caso de rumores, si su vivienda está en la zona afectada, podrá regresar a ella cuando las autoridades lo indiquen, desalojar el agua estancada para evitar plagas de mosquitos, las autoridades informarán sobre los apoyos y mecanismos para la reconstrucción.

Si tiene que salir:

Mantenerse alejado de las áreas afectadas, evitar tocar o pisar cables eléctricos, retirarse de casas, árboles y postes en peligro de caer, si su casa se encuentra cerca de laderas,

tenga cuidado de los deslaves, retirarse inmediatamente y dar alerta a las autoridades de protección civil, si vive en zonas con tales riesgos; poner atención a los avisos, ya que los provienen de los peligros que esta situación trae consigo y orientan sus acciones para proteger su vida (Rodríguez, 2012).

Problemas económicos.

Los efectos directos en el aspecto económico se tratan en esencia, de los prejuicios que sufrieron los acervos durante el siniestro.

Entre los principales rubros de esta categoría se encuentran la destrucción total o parcial de infraestructura física, edificios, instalaciones, maquinaria, equipo, medios de transporte y almacenaje, prejuicios en las tierras de cultivo, en obras de riego, embalses, etc.

Es conveniente distinguir entre los daños al sector público y daños al sector privado, con el propósito de determinar donde recaerá el peso de la reconstrucción. (Rodríguez, 2012).

Consecuencias ecológicas.

Los factores que ocasionan más impacto en el medio natural son la rapidez con la que se producen las crecidas, la velocidad del agua y la elevada carga de sedimentos.

Las inundaciones destruyen las comunidades ecológicas porque las cubren o porque las arrastran, la fuerza del agua arrastra parte del sustrato y de la vegetación, así como las semillas poco profundas, lo que puede afectar a la capacidad de rebrotamiento y por lo tanto la colonización de las especies. (Pikup et al., 2003)

Los efectos en las inundaciones en el entorno, especialmente vegetal, no son del todo negativas, los cambios en el régimen hídrico dan lugar a ambientes con una elevada diversidad biológica.

Capítulo 5 “Recolección, Procesamiento y análisis geoespacial de datos correspondientes al municipio de Ecatepec de Morelos en el Estado de México”.

Se conjuntó una muestra ilustrativa de los trabajos que permitan apreciar las capacidades de la Geomática y sus disciplinas convergentes para apoyar al estudio de las variables del ciclo hidrológico en un contexto de análisis territorial para la problemática de las inundaciones en nuestra zona de estudio.

Trabajando en conjunto con la elaboración de un elemento innovador como lo es un SIG (Sistema de Información Geográfica) y las posibilidades de tener acceso a bases de datos abiertos, así como, a la información generada mediante las imágenes satelitales de los receptores remotos existentes, se pretende obtener iniciativas que exista conciencia dentro de la sociedad en beneficio de la prevención de daños severos que pudieran causar las inundaciones.

Intervención de la Ingeniería Geomática en el estudio de la problemática de inundaciones.

En la actualidad la Ingeniería Geomática está relacionada con diversos temas que rodean el ambiente en el que vivimos. Las técnicas de la Ingeniería Geomática hacen posible determinar o estimar las zonas que se puedan ver o estar relacionadas con la problemática que provoca una inundación, lo cual demuestra ser una valiosa herramienta para la reducción de riesgos por la ocurrencia de este tipo de evento natural.

Existe la posibilidad de contribuir en identificar o geolocalizar qué tipo de medida estructural o socio ambiental conduce a la reducción del riesgo por inundaciones, se pueden mapear y monitorear las áreas inundadas en la comunidad del municipio de Ecatepec de Morelos.

El uso de la teledetección y de los Sistemas de Información Geográfica, surge como una alternativa para observar este tipo de evento y proporciona a su vez un análisis y evaluación de los efectos causados. El seguimiento satelital continuo de las cuencas y de su situación hidrológica, es una de las acciones más óptimas para la prevención y alertas tempranas ante eventos hídricos intensos y cortos periodos de retorno.

La información satelital es utilizada habitualmente como una herramienta que permite realizar cartografías de las áreas afectadas por el agua y la combinación con otras herramientas aumenta su potencial.

Los productos de sensores remotos resultan ser muy útiles, precisos y algunos hasta económicos para el seguimiento de los ecosistemas a distintas escalas espaciales y temporales.

Uno de esos productos son los modelos digitales de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.

El modelo digital de elevación desde su creación en la década de los 50 ha constituido un medio para el conocimiento y representación del terreno y para lograr análisis de los elementos presentes en el mismo mediante el uso de equipo y software especializado para tal fin. En la actualidad estos modelos constituyen un medio para lograr la representación del relieve muy versátil y funcional ya que a partir del mismo se puede conocer la conformación o morfología del terreno (MDT) sino también los elementos de origen antrópico y la vegetación presente en el mismo (MDS). Además es posible derivar o generar información a partir de los modelos digitales de elevación que nos posibilita que tengamos más datos de apoyo para el cumplimiento de objetivos, toma de decisiones y desarrollo de proyectos relacionados con el relieve, los datos de apoyo derivados pueden ser curvas de nivel, corrientes de agua, mapas de pendientes, redes irregulares de triángulos (TIN), imágenes del relieve sombreado o mapa de sombras, puntos acotados de altura, modelos vectoriales de la altura de los elementos presentes en el terreno, líneas estructurales, entre otros.

Marco teórico.

Se planteó generar un Sistema de Información Geográfico basado en herramientas de distintos softwares que puedan ser de apoyo en materia de inundaciones, para el procesamiento de los datos dentro de una zona urbana. Con base en metodologías para el análisis de datos, será posible estudiar los diferentes criterios que se pueden relacionar con las inundaciones en las manchas urbanas, debido a la precipitación que se ha presentado a lo largo de un periodo de tiempo en la zona de Ecatepec de Morelos en el Estado de México.

Con los datos obtenidos y la aplicación de las herramientas en el software empleado, se generó un resultado que se interpretó en diferentes mapas temáticos con los cuales se observa un impacto en diferentes aspectos que servirán para poder comentar si se cumplen los objetivos planteados para el proyecto en estudio.

Creando un modelo de gestión de reducción de riesgos por inundación se determinó el riesgo y se generó información que permita restablecer condiciones de supervivencia adecuada, planteando la manera en cómo la participación y la deliberación social conduce a actores interesados a enfrentar diversos desafíos ambientales.

La identificación de riesgos por las inundaciones y la cuantificación de la zona de estudio que fue afectada, se podrá hacer al realizar los diferentes procesos que involucran los factores relacionados, así como, la identificación de los mecanismos de inundación y una recopilación de datos de inundaciones sobre las avenidas más afectadas. Una vez obtenidos estos datos se procederá a realizar una zonificación y cartografía de las zonas según su grado de peligrosidad.

Las imágenes de satélite se han convertido en la fuente de datos más factible para determinar la extensión afectada por una inundación, especialmente cuando estos fenómenos abarcan grandes extensiones y duran varios días, incluso semanas.

Una vez pasada la emergencia estas imágenes podrán ser analizadas para definir los puntos del territorio cuya protección debe reforzarse, así como planificar nuevos usos de suelo que disminuyan el riesgo de inundación. (Fabela, 2017).

Marco Normativo.

En el ámbito nacional se dictan las leyes y reglamentos que apoyan la participación en las acciones encaminadas a reducir el riesgo por desastres a los que está expuesta la población, sus bienes y el territorio, en colaboración con los distintos planes y programas que procuran minimizar los efectos causados por los procesos naturales, entre los que se pueden destacar los ciclones tropicales, sismos, inundaciones, entre otros desastres naturales que son existentes, fue motivo por el cual la sociedad requirió de la creación de la Ley General de Protección Civil, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, así como los organismos Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y Comisión Nacional del Agua (CAEM) correspondiente al Estado de México para esta investigación.

La legislación en materia específica del tema de inundaciones se aborda únicamente como una prevención del establecimiento de los asentamientos humanos en zonas de riesgo y a partir de ello, se establece un conjunto de leyes, normas y reglamentos que cooperan con mecanismos de acción, apoyo y prevención de desastres dentro de una población, considerando que existen diversas zonas de peligro por el riesgo de inundación. (Fabela, 2017).

Ley General de Protección Civil.

Dentro de una comunidad se deben de considerar aspectos de distintos temas, para lograr que suceda se requiere elaborar, contar y cumplir con los reglamentos que permitan el desarrollo de las actividades humanas de manera segura y controlada. En el ámbito que tiene que ver con la descripción del proceso de inundaciones, existe una serie de consideraciones jurídicas que están enmarcadas en los aspectos legales, normativos e institucionales, convirtiendo a las inundaciones en temas cuyo carácter debe ser inmediato, ya que existe la posibilidad de representar escenarios en los que se ve afectada la población que habita dichas áreas.

En el Sistema Nacional de Protección Civil se crea la Ley General de Protección Civil, que en materia de seguridad social, se establece que se encarga de promover el resguardo de la seguridad social en México, es considerada para reducir los riesgos, controlar y prevenir los efectos adversos de un agente perturbador, la vulnerabilidad y el grado de exposición de los agentes factibles.

Dentro de Ley General, se instruye al Poder Ejecutivo Federal la promoción e incorporación de la Gestión Integral de Riesgos en el desarrollo local y regional, estableciendo estrategias y políticas basadas en el análisis de riesgos, con el fin de evitar la construcción de riesgos futuros y la realización de acciones para reducir los riesgos existentes.

La intención principal Ley General de Protección Civil, es promover la identificación de riesgos específicos que puedan afectar de manera grave a la población, lo cual está relacionado dentro de esta investigación, ya que buscaremos las zonas propensas a inundaciones que son recurrentes y suponen un riesgo para el municipio de Ecatepec en el Estado de México. (Fabela, 2017).

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Dentro de las diferentes áreas que localizamos sobre nuestra superficie terrestre, nos podemos dar cuenta de la existencia de distintos ecosistemas que nos rodean y que se vuelven fundamentales para mantener la vida, para poder sincronizar una buena manera de promover un orden ecológico, se creó la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente, dentro de esta ley se mencionan las reglas y normas para la

preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como también hace referencia a la protección al ambiente dentro del territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

Tienen por objeto proporcionar el desarrollo sustentable y establecer las bases para garantizar el derecho de toda persona a vivir en un ambiente sano para su desarrollo, salud y bienestar, además de la prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo.

Así mismo, se consideran de utilidad pública el establecimiento de zonas intermedias de salvaguardia, debido a la presencia de actividades consideradas como riesgosas, también la formulación y ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.

Otro aspecto de importancia mencionado es la formulación del ordenamiento ecológico, en el cual se deberán considerar criterios referidos a los desequilibrios existentes en los ecosistemas por efecto de los asentamientos humanos, de las actividades económicas, otras actividades humanas o procesos naturales, el impacto ambiental de nuevos asentamientos humanos, vías de comunicación y demás obras o actividades.

Esta ley menciona la determinación de áreas para el crecimiento de los centros de población, en los que se fomentará la mezcla de los usos habitacionales que no representan riesgos o daños a la salud de la población y determinar áreas en las que no se podrá permitir los usos habitacionales, comerciales u otros que pongan en riesgo a la población; aunque estas medidas han sido rebasadas por la presión que ejerce el crecimiento demográfico promoviendo la ocupación de lugares adyacentes a zonas de peligro que deriva en algún tipo de desastre como las inundaciones. (Fabela, 2017).

Centro Nacional de Prevención de Desastres.

El CENAPRED tiene como misión el salvaguardar la vida, los bienes e infraestructura a través de la gestión continua de políticas públicas para la prevención y reducción de riesgos de desastres, por medio de la investigación y el monitoreo de fenómenos perturbadores, así como la formación educativa y la difusión de la cultura de protección civil, con objeto de lograr una sociedad más resiliente; y en su visión el carácter técnico-científico e innovador en materia de prevención de desastres, siendo el referente en los tres órdenes de gobierno cuyas acciones inciden en la reducción efectiva del riesgo.

La Secretaría de Gobernación presenta reportes que han sido elaborados a partir de los pronósticos de lluvia que el Servicio Meteorológico Nacional y la Subdirección de Meteorología de la Dirección General de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación realizan diariamente durante todo el año, y en dichos reportes se da una estimación del riesgo por inundaciones en que se encuentran los municipios del país, por precipitaciones

intensas causadas por ciclones tropicales, entrada de aire húmedo y frentes fríos, entre otros. Además propone generar y mejorar la calidad de la estimación del riesgo a través de los avances en técnicas para los pronósticos meteorológicos que permitan conocer mejor, la vulnerabilidad de los municipios del país, y de la constante retroalimentación de las Unidades Estatales y Municipales de Protección Civil.

En relación al tema de este trabajo, se puede mencionar el ámbito territorial que se propone para el desarrollo de este estudio, por considerar la unidad de análisis por sección electoral que representará información puntual y precisa de los aspectos sociales claramente delimitados y definidos por éstas, y con ello, la estimación de la vulnerabilidad arroja datos más precisos y confiables. (Fabela, 2017).

Ley de Protección Civil del Estado Libre y Soberano de México

Para esta Ley dentro del Estado de México donde se ubica nuestra zona de estudio, se dicta que es de utilidad pública la ejecución de obras destinadas al monitoreo, la prevención, mitigación, protección, restauración y atención de las situaciones generadas por el impacto de siniestros o procesos que afecten al bienestar y la seguridad de la sociedad y tengan efectos destructivos en la población, sus bienes y entorno en su ámbito territorial, así como aquellas relacionadas con la infraestructura pública de la detección de riesgos.

En esta Ley se sientan las bases que definen los criterios de las políticas públicas para la prevención y mitigación de las amenazas de agentes perturbadores de origen hidrometeorológicos, entre otros, que son responsabilidad de los Sistemas Municipales para asegurar la protección civil en el Estado de México. (Fabela, 2017).

Comisión de Agua del Estado de México

El tema de las inundaciones para la entidad mexiquense, se lleva a cabo por la Comisión de Agua del Estado de México CAEM que anualmente elabora un Atlas de Inundaciones como herramienta de ayuda en la toma de decisiones preventivas y correctivas necesarias para auxiliar y mitigar los daños a la población y sus bienes, además de mantener informadas en todo momento a las dependencias de los tres niveles de Gobierno, cuya información está organizada por municipios a través de mapas y documentos, en donde se exponen las zonas tendientes a estas problemáticas, este organismo se encarga de realizar acciones para disminuir afectaciones por el desarrollo de las inundaciones.

La CAEM cuenta con un programa de contingencias para la temporada de lluvias que se ejecuta anualmente en beneficio de la población, y en el que se prevén las acciones de desazolve del fondo de los lagos, cauces, presas y ríos; así como trabajos de apoyo; diseño ejecutivo de obra, poda de árboles y retiro de basura; la rehabilitación y construcción de plantas de bombeo; la construcción de estructuras de control, compuertas,

presas, bordos, colectores y rectificación de canales, rehabilitación de bordos y lagunas; el diseño ejecutivo de obra y construcción de captaciones y la rectificación de cauces, la rehabilitación de presas y plantas de bombeo; el diseño ejecutivo de obra, trabajos de apoyo y planeación ejecutiva de obras y acciones a corto, mediano y largo plazo para prevenir y reducir los efectos producidos por las inundaciones. (Fabela, 2017).

Recolección de datos.

El origen de los datos con los que se trabaja en un SIG puede ser sumamente variado y presentarse asimismo en diversas formas. La metodología seguida en la recolección de datos condiciona directamente la forma en que estos llegan a las personas que procesan y analizan la información, por lo tanto la metodología para poder adaptarlos para la realización de un trabajo concreto.

Existen información completa en libros, artículos, o documentos digitales, por lo que en este estudio se recopilaron datos y documentos de carácter científico-técnico. La información que se puede obtener proviene de diferentes fuentes e investigaciones de diversas áreas, por lo que tener acceso a ellas nos da la pauta de iniciar o complementar el estudio de interés.

Para el desarrollo de este proyecto de investigación orientado a los riesgos naturales especialmente de las inundaciones en áreas urbanas, se requirió de la búsqueda de insumos suficientes para poder crear diferentes representaciones del área de estudio y el porqué de la importancia de poder conocer y apoyar en la prevención de los fenómenos naturales que nos rodean.

Recursos del proyecto

La utilización de la cartografía ha dado un vuelco radical en el plazo de unas décadas, permitiendo nuevas posibilidades y acercando la información cartográfica como herramienta de primer orden a un público amplio y diverso. La elaboración de cartografía ha pasado de ser terreno exclusivo de profesionales de cierto sector, a ser una labor abierta donde las nuevas tecnologías, han permitido que otro tipo de usuarios desarrollen y compartan información cartográfica. Es por eso que los SIG no son solo herramientas de gran importancia en lo que a la información georreferenciada se refiere, sino en gran medida son de apoyo para la colaboración multi e interdisciplinaria, lo que ha sido vital para impulsar y hacer crecer el potencial de estas herramientas.

En una sociedad donde la información y la tecnología son dos pilares fundamentales, los SIG se vuelven la tecnología estandarte para el manejo de información geográfica, y los

elementos básicos que canalizan la gestión de todo aquello que presente una componente geográfica susceptible de ser aprovechada.

Muchas disciplinas trabajan con información de distinta naturaleza, ya que un SIG tiene una inherente naturaleza integradora, la cual puede enfocarse desde muchos puntos de vista, convirtiéndola en un elemento relevante, el verdadero pilar de esa naturaleza integradora del SIG reside en la información con la que trabaja para que sea un sistema sólido y cohesionado, otorgándole sus propias características y su interés como herramienta polivalente.

Los programas en un Sistema de Información Geográfica permiten al usuario superponer diversos tipos de datos para hallar, visualizar y analizar las relaciones entre ellos, en una combinación de cartografía digital y bases de datos alfanuméricas. Estos sistemas son herramientas multipropósito, por lo que sus campos de aplicación son muy diversos.

Así, como recurso principal para el desarrollo de este proyecto, los SIG son una herramienta fundamental para trabajar con información georreferenciada, una definición en la cual pueden entrar un gran número de tecnologías y de otros elementos no tecnológicos.

Que es un SIG.

Una definición para un SIG sería que; es un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica y cuya principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados. (Olaya, 2014).

Básicamente un SIG ha de permitir la realización de las siguientes operaciones:

- Lectura, edición, almacenamiento y gestión de datos espaciales.
- El análisis de esos datos incluye desde consultas sencillas hasta la elaboración de complejos modelos.
- La generación de resultados es representada como tal en mapas, informes gráficos, etc.

Puede pensarse que los SIG son herramientas informáticas, sin embargo, el papel integrado por el SIG hace que sean la herramienta elegida para la gestión de resultados, una gran parte de las tecnologías que han surgido en los últimos años y seguramente de las que surjan en próximos años, se centran en el aprovechamiento de la información espacial.

La presencia del SIG como puerta de acceso a esa información es una fuente muy valiosa para distintas personas, ya que un Sistema de Información Geográfica es también un elemento integrador a nivel humano y profesional.

Los SIG no solo han contribuido al desarrollo de las ciencias afines, sino que en muchos casos se han modificado o han contribuido a la formación de nuevas ramas.

Desde otro punto de vista podemos entender un SIG como la unión de dos ciencias: la geografía y la informática; siendo así una herramienta informática para ayudar al trabajo en el ámbito geográfico, pues esta incorpora elementos de muchas ciencias distintas como lo son, diferentes disciplinas relacionadas con la tecnología y el manejo de información, disciplinas dedicadas al estudio de la Tierra desde un punto de vista físico, disciplinas dedicadas al estudio de la Tierra desde un punto de vista social y humano, disciplinas dedicadas al estudio del entendimiento humano, en particular en la interacción con las máquinas. Para que un SIG pueda considerarse una herramienta útil y variada con carácter general, debe incorporar tres subsistemas, cada uno de ellos encargado de una serie de funciones particulares.

- Subsistema de datos: Se encarga de las operaciones de entrada y salida de datos, así como su gestión, la cual permitirá a los otros subsistemas tener acceso a los datos y realizar sus funciones en base a ellos.
- Subsistema de visualización y creación cartográfica: Crea representaciones a partir de datos (mapas, leyendas, etc.), permitiendo la edición e interacción con ellos.
- Subsistema de análisis: Contiene métodos y procesos para el análisis de los datos geográficos.

El creciente interés por la información geográfica y el estudio del medio, así como el nacimiento de la era de la informática, propiciaron la aparición de estos sistemas. Desde los años setenta hasta nuestros días, los SIG han ido definiéndose en base a la evolución de la informática, la aparición de nuevas fuentes de datos en el análisis geográfico, convirtiéndose en aplicaciones genéricas formadas por diversos elementos, cuya tendencia actual es a la convergencia en productos más versátiles y amplios. (Olaya, 2014).

Conceptos Cartográficos y Geodésicos.

Dentro de nuestra área de investigación es muy necesario trabajar con información georreferenciada, se requiere el conocimiento de una serie de conceptos previos para poder realizar correctamente todo tipo de operaciones.

Estos conceptos se derivan de otras disciplinas que tradicionalmente han trabajado con este tipo de información, como por ejemplo la cartografía, todos los mapas son abstracciones de la realidad, por lo que un mapa puede ilustrar algunas características de la superficie terrestre.

La característica principal de la información georreferenciada es que tiene una localización en el espacio, particularmente en el espacio terrestre. Por ello, es necesario tener un conocimiento preciso de la forma de nuestro planeta, para así tratar con exactitud y rigor la información con que se trabaja un SIG. La geodesia es la ciencia que se encarga del estudio de la forma de la Tierra.

Los avances en este campo han sido constantes desde la antigüedad, y esta evolución es la que ha permitido que en la actualidad se puedan obtener resultados altamente precisos en el trabajo con la información georreferenciada.

La cartografía es el campo dedicado al estudio de los mapas y la generación de estos, incluyendo cualquier actividad de creación, presentación y uso de los mapas. Los mapas son creados de información colectada en las localidades y los atributos del ambiente, generadas mediante reducciones del espacio geográfico en relación a las áreas representadas, las cuales están diseñadas para observar, calcular, analizar y entender las relaciones espaciales entre diferentes características del ambiente.

A la hora de definir la forma y dimensiones de la Tierra, la geodesia plantea modelos que pueden recoger la complejidad natural de la superficie terrestre y expresarla de una forma más simple y fácil de manejar, uno de los objetivos principales de la geodesia es establecer un sistema de referencia y definir un conjunto de puntos (vértices geodésicos), cuyas coordenadas en dicho sistema sean conocidas con una precisión elevada. Posteriormente y con base en esos puntos se forma una red geodésica, para así calcular las coordenadas de cualquier punto en el sistema de referencia definido. (Olaya, 2014).

Los Sistemas de referenciación espacial más comunes se encuentran dentro de uno de estos tres tipos:

- Coordenadas Geográficas (Latitud y longitud),
- Coordenadas Rectangulares (Malla de coordenadas rectangulares como transformación de la superficie de la tierra en una superficie plana utilizando una proyección de mapas),
- Sistemas Coordenadas locales (División de la tierra en secciones y cuartos, números referenciales únicos, etc.).

A la hora de buscar un modelo al que asimilar la forma de la Tierra, existen dos conceptos básicos: “el elipsoide de referencia y el geoide”.

Desde la antigüedad, se han formulado numerosas hipótesis sobre la forma que la Tierra tenía, desde suponer que esta era plana, hasta admitir la evidencia de que tiene forma esférica o similar. En realidad la Tierra no es una esfera perfecta, ya que su propia rotación ha modificado esa forma y ha provocado un achatamiento en los polos, esta hipótesis ha sido corroborada con numerosas experiencias. No obstante, podemos asimilar la forma de la Tierra a una superficie teórica, denominada elipsoide.

Un elipsoide viene definido por dos parámetros: el semieje mayor y el semieje menor. En caso de la Tierra estos corresponderá con el radio ecuatorial y el radio polar respectivamente. Por lo tanto, el elipsoide es la forma geométrica que mejor se adapta a la forma real de la Tierra

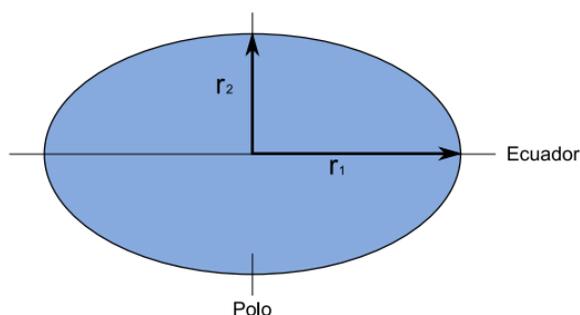


Imagen 8. Parámetros que definen un elipsoide. Fuente: <https://eos.com/es/blog/analisis-espacial/>

La necesidad de trabajar con un elipsoide global para todo el planeta es más reciente, por lo cual se hace patente que debe realizarse un esfuerzo por homogeneizar el uso de elipsoides, de tal modo que pueda trabajarse con una referencia internacional que facilite el uso de la cartografía en las distintas zonas del planeta. Surgiendo así los primeros elipsoides generales (imagen 8), los cuales buscan un ajuste óptimo, cumpliendo las siguientes características:

- El centro de gravedad terrestre y el del elipsoide deben coincidir
- El plano ecuatorial terrestre y el del elipsoide deben coincidir

La tabla 1 muestra algunos de los elipsoides de mayor uso en diversas partes del mundo, con sus correspondientes parámetros.

El elipsoide WGS84 es muy empleado en la actualidad, pues es usado por el sistema GPS.

Elipsoide	Semieje mayor	Semieje menor	$\frac{1}{f}$
Australian National	6378160.000	6356774.719	298.250000
Bessel 1841	6377397.155	6356078.963	299.152813
Clarke 1866	6378206.400	6356583.800	294.978698
Clarke 1880	6378249.145	6356514.870	293.465000
Everest 1956	6377301.243	6356100.228	300.801700
Fischer 1968	6378150.000	6356768.337	298.300000
GRS 1980	6378137.000	6356752.314	298.257222
International 1924 (Hayford)	6378388.000	6356911.946	297.000000
SGS 85	6378136.000	6356751.302	298.257000
South American 1969	6378160.000	6356774.719	298.250000
WGS 72	6378135.000	6356750.520	298.260000
WGS 84	6378137.000	6356752.314	298.257224

Tabla 1. Elipsoides y sus parámetros característicos. Fuente: <https://eos.com/es/blog/analisis-espacial/>

El geoide de referencia, es definido como la superficie tridimensional en cuyos puntos la atracción gravitatoria es constante. Se trata de una superficie equipotencial, del campo de gravedad de la Tierra que resulta de suponer los océanos en reposo, a un nivel medio y prolongar estos por debajo de la superficie terrestre.

La particularidad del geoide reside en que en todos los puntos la dirección de la gravedad es perpendicular a su superficie, así el geoide es aproximadamente igual al nivel medio del mar, por supuesto que el nivel del mar es en realidad variable como consecuencia de las mareas, corrientes y otros fenómenos.

El elipsoide (imagen 8), con su forma geométrica no puede recoger toda la variabilidad del geoide, por lo cual estas dos superficies presentan diferencias, cuyo valor máximo es generalmente de ± 100 metros. Estas diferencias se conocen como alturas geoidales.

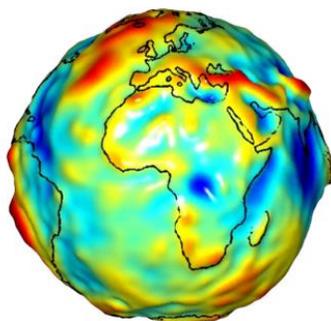


Imagen 9. Representación gráfica del geoide. Fuente: <https://eos.com/es/blog/analisis-espacial/>

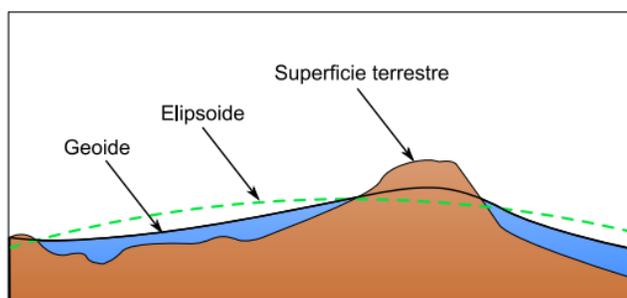


Imagen 10. Superficies fundamentales de la Tierra, Geoide y Elipsoide. Fuente: <https://eos.com/es/blog/analisis-espacial/>

La imagen 10 muestra una comparación esquemática entre las tres superficies involucradas: la superficie real de la tierra, el geoide y elipsoides de referencia.

Cuando se trabaja con un elipsoide general, se sitúa de tal modo que tanto la posición de su centro de gravedad como su plano ecuatorial coinciden con los terrestres. Por el contrario, cuando el elipsoide es local, estas propiedades no han de cumplirse necesariamente, y el elipsoide a solas resulta insuficiente ya que carecemos de información sobre su posicionamiento con respecto a la superficie terrestre. Surgiendo así, el concepto de Datum, que es el conjunto formado por una superficie de referencia y un punto en el que se enlaza al geoide, denominando este punto como punto astronómico fundamental y en ese punto fundamental el elipsoide es tangente al geoide. (Olaya, 2014).

Sistemas de coordenadas.

Con el conocimiento de un modelo preciso para definir la forma de la Tierra, se establece un sistema de codificar cada una de las posiciones sobre su superficie y asignar a estas un conjunto de valores denominados coordenadas.

Los conceptos de Latitud y Longitud se derivan de la consideración del elipsoide de referencia con los elementos de la geometría esférica y utilizándose para definir el sistema de referencia que comúnmente se le llaman coordenadas geográficas. (Olaya, 2014).

El sistema de coordenadas geográfico es un sistema de coordenadas esféricas mediante el cual un punto se localiza con dos valores angulares.

- La latitud ϕ es el ángulo entre líneas que une el centro de la esfera con un punto de su superficie y el plano ecuatorial. Las líneas formadas por la intersección de estos

puntos de la misma latitud se denominan paralelos y forman círculos concéntricos paralelos al ecuador.

La latitud por definición es de 0° en el ecuador, que divide el globo en los hemisferios norte y sur, las latitudes se pueden expresar en dos maneras, dependiendo la ubicación del punto en cuestión, la primera manera es con la indicación del norte (N) y al sur (S), dependiendo el hemisferio donde se sitúa el punto y mediante los signos matemáticos positivo (+) y negativo (-), en cuyo caso los puntos al Sur del ecuador tienen signo negativo.

- La longitud λ es el ángulo formado entre dos planos que contienen la línea de los polos. El primero es un plano que se toma como referencia y el segundo es el que, además de contener a la línea de los polos, contiene al punto en cuestión.

Las líneas formadas por puntos de igual longitud se denominan meridianos y convergen en los polos. Como meridiano de referencia internacional se toma aquel que pasa por el observatorio de Greenwich, en el Reino Unido, esto a su vez el globo terráqueo en dos hemisferios: el Este y el Oeste. La longitud puede expresarse especificando si el punto se sitúa al Este o al Oeste, o de igual manera utilizando un signo matemático, en cuyo caso los puntos al Oeste del meridiano de referencia tienen signo negativo.

Las coordenadas geográficas resultan de gran utilidad, especialmente cuando se trabaja con grandes regiones, si bien, la distancia entre dos paralelos es constante, la distancia entre los meridianos no lo es, y varía entre unos 11.3 km en el Ecuador, hasta los 0km en los polos, donde los meridianos convergen.

Estamos más acostumbrados a la utilización de sistemas cartesianos en los cuales la posición de un punto se define mediante un par de medidas de distancia "x" e "y". Pero existe una necesidad de poder trasladar la información geográfica, a un plano, con objeto de poder crear cartografía y simplificar gran número de operaciones posteriores.

El proceso de asignar una coordenada plana a cada punto de la superficie de la Tierra, se conoce como proyección cartográfica, es la correspondencia matemática biunívoca entre los puntos de la esfera o elipsoide y sus transformados en un plano.

Para poder ejecutar esta transformación existen formas de relacionar los puntos de las superficies tridimensionales con nuevos puntos en un plano. Las proyecciones se clasifican según la superficie sobre la que se proyectan los puntos, las más habituales son el cono y el cilindro, las cuales, situadas en una posición dada una relación al objeto a proyectar, definen un tipo dado de proyección.

- Cónicas. La superficie desarrollable es un cono, que se sitúa tangente o secante en dos paralelos a la superficie del elipsoide, para este caso, la distorsión se minimiza en las áreas entre dichos paralelos, haciéndola útil para representar franjas que no abarquen una gran distancia en latitud, pero poco adecuada para representación de grandes áreas. Las proyecciones más conocidas en este tipo son: la proyección cónica equípola de Albers y la proyección conforme cónica de Lambert.
- Cilíndricas. La superficie desarrollable es un cilindro, al proyectar los meridianos, se convierten en líneas paralelas, así como los paralelos, aunque la distancia entre estos últimos no es constante. La proyección de Mercator, la transversal de Mercator, la cilíndrica de Miller o la cilíndrica de Lambert, son ejemplos para este tipo de proyecciones.
- Planas o azimutales. La superficie desarrollable es directamente un plano, se puede tener distintos tipos en función de la posición del punto de fuga.
- Gnomónica o Central. El punto de fuga se sitúa en el centro del elipsoide.
- Estereográfica. El plano es tangente y el punto de fuga se sitúa en las antípodas del punto de tangencia. La proyección polar estereográfica es empleada habitualmente para cartografiar las regiones polares.
- Ortográficas. El punto de fuga se sitúa en el infinito.

Otra forma de clasificar las proyecciones es según las propiedades métricas que conserven, considerando que toda proyección implica alguna distorsión.

- Equiárea. Para este tipo de proyección se mantiene una escala constante, es decir, la representación entre un área terrestre y el área proyectada, es la misma independientemente de la localización, con lo que la representación proyectada puede emplearse para comparar superficies
- Conformes. Estas proyecciones mantienen la forma de los objetos, ya que no provocan distorsión de los ángulos
- Equidistantes. En estas proyecciones se mantienen las distancias,

La existencia de un gran número de distintas proyecciones es precisamente el futuro de las diferentes necesidades que aparecen a la hora de trabajar con cartografía. Dentro de las distintas proyecciones que existen actualmente, algunas tienen un uso más extendido,

pues se emplean con más frecuencia para la creación de cartografía, también las que más habitualmente vamos a encontrar en los datos que empleamos en un SIG.

En la actualidad, una de las proyecciones más aprovechadas en todos los ámbitos es la Proyección Universal Transversal de Mercator, UTM. Este sistema, desarrollado por el Ejército de los Estados Unidos, divide a la Tierra en una serie de zonas rectangulares mediante una cuadrícula, junto con unos parámetros geodésicos concretos a cada una de dichas zonas. (Olaya, 2014).

La Cartografía y Geodesia son ciencias que aportan un importante conjunto de conocimientos y elementos al mundo de los SIG. Así, con ayuda de estas herramientas será posible generar resultados para cumplir con los objetivos de la investigación en cuestión.

Datos Geográficos.

Existen distintos métodos que nos permiten llevar a la práctica el proceso de creación del dato geográfico, y los orígenes desde los que estos se generan.

En épocas pasadas toda la información que se manejaba dentro de un SIG tenía su origen en un mapa en papel, el cual se adapta a la naturaleza propia. El desarrollo de la tecnología generó los primeros programas en beneficio a la elaboración de los SIG.

Sin embargo, los datos geográficos de los que se disponía no se encontraban en formato digital, por lo que se complicaba su uso dentro de un SIG, provocando que uno de las primeras tareas fuera la digitalización de cartografía, es decir, convertir los datos geográficos en formato impreso, en datos en formato digital que un SIG pudiera manejar. En la actualidad, la recolección de datos geográficos es un ámbito complejo con muchas alternativas, las cuales deben integrarse dentro de un SIG para permitir que este despliegue todo su potencial sobre dichos datos, buscando describir los enfoques teóricos existentes para convertir la realidad relativa a una variable dada en una capa que la contenga de la forma más precisa posible y pueda ser empleada en un SIG.

Se hace necesario extraer una serie de elementos y valores característicos, los cuales serán representados como valores numéricos dentro del SIG para su interpretación. El camino que lleva desde la realidad hasta el conjunto de meros valores numéricos pasa por 3 niveles:

- Establecimiento de un modelo geográfico. Es decir, un modelo conceptual de la realidad geográfica y su comportamiento.
- Establecimiento de un modelo de representación. Es decir, una forma de recoger el modelo conceptual y sus características propias, reduciéndolo a una serie finita de elementos.
- Establecimiento de un modelo de almacenamiento. Es decir, un esquema de cómo almacenar los distintos elementos del modelo de representación.

La creación del dato geográfico implica el establecimiento de un modelo conceptual relativo a cómo se ha de interpretar la realidad geográfica. El objetivo es conceptualizar el espacio estudiado, la variable tratada y la variación de esta a lo largo del espacio. Un campo es un modelo de variación dentro de un marco n-dimensional, es decir, es una fusión que asocia cada punto de un espacio vectorial con otro punto en un espacio vectorial distinto.

El espacio vectorial de origen puede ser bidimensional, representado $f(x,y)$, siendo x , y las coordenadas geográficas, sin embargo, puede añadirse una tercera dimensión, de tal modo que los valores dependen no solo de la posición, sino igualmente de la elevación, tratándose de una $f(x,y,z)$.

Por su propia naturaleza los campos son ideales para modelizar variables que varían de forma continua en el espacio. A diferencia de los campos, el modelo de entidades discretas no asocia a cada punto geográfico un valor, sino que concibe un entorno geográfico como un espacio vacío sobre el que se sitúan distintos elementos que lo van rellenando.

Los modelos geográficos nos ofrecen una concepción particular del espacio geográfico y sus atributos, para así reducir las propiedades de dichos modelos a un conjunto finito de elementos, de tal modo que el registro de dichos elementos sirva para almacenar la realidad que los modelos geográficos describen.

Para un mismo tipo de información existen diversas alternativas en cuanto a la forma de materializar la realidad y plasmar el modelo geográfico concreto. Estas formas las podemos clasificar en dos grupos principales, modelo de representación raster y vectorial.

Se puede decir, que el modelo ráster se basa en la división sistemática del espacio, caracterizándose como un conjunto de unidades elementales. El modelo vectorial, no divide el espacio completamente, sino que lo define mediante una serie de elementos geométricos con valores asociados, guardando relación con los objetos geográficos presentes en la zona de estudio. Como se puede visualizar en la Imagen 11.

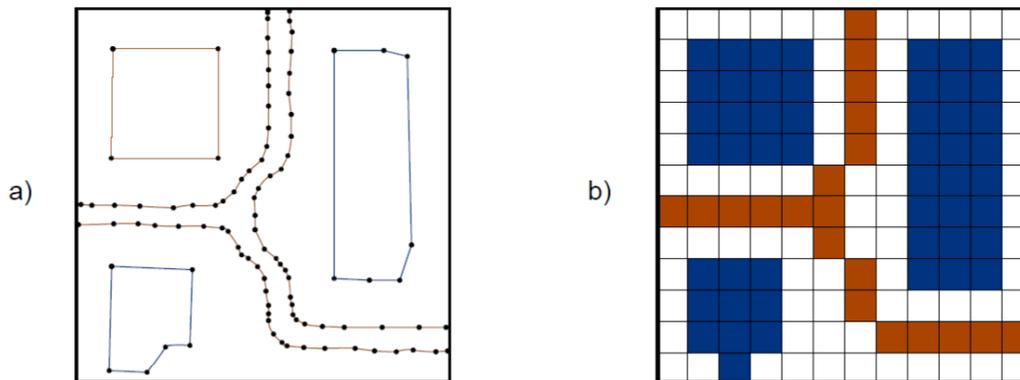


Imagen 11. Comparación entre los esquemas del modelo de representación vectorial (a) y representación Raster (b).
Fuente: <https://eos.com/es/blog/analisis-espacial/>

Los modelos de almacenamiento son un conjunto de valores numéricos, plantean básicamente un esquema de cómo convertir dichas unidades en valores numéricos de las formas más eficientes. Es decir, escribir dichos valores en un soporte digital o guardarlos en la memoria del ordenador de la mejor manera posible.

Estos modelos atienden principalmente la tarea de minimizar el espacio ocupado por los datos y maximizar la eficiencia del cálculo. Pues un modelo de representación que minimice el tamaño de los datos, unido a un manejo óptimo de memoria, son requisitos de gran importancia para los SIG que manejen datos ráster, considerando los grandes volúmenes de datos que hoy en día se manejan. (Olaya, 2014).

Análisis geoespacial.

El análisis espacial de datos es una técnica que se ha extendido a lo largo del planeta, con el objetivo principal de determinar si una zona cumple con los requisitos para realizar determinadas actividades de índole empresarial, de igual manera, permite detectar cambios, evaluar riesgos, identificar tendencias o prevenir pérdidas.

Un análisis geoespacial geográfico es un proceso de interpretación, exploración y modelización de datos SIG desde su adquisición hasta el entendimiento del resultado obtenido. En general, un análisis espacial completo consta de distintos aspectos importantes como lo son: definir el objetivo, preparar los datos, elegir las herramientas y técnicas adecuadas, realizar la investigación y evaluar los resultados.

Uno de los aspectos positivos del análisis espacial es su flexibilidad, combinando tantas capas de datos como sean necesarias para obtener los resultados deseados, siendo de

utilidad en numerosos sectores y para diferentes propósitos, como agricultura, silvicultura, minería, economía o demografía, por mencionar algunos.

Para poder desarrollar los objetivos planteados y en base al conocimiento de los elementos que necesitamos para obtener resultados para nuestra investigación, es necesario comenzar retomando las características y elementos principales de nuestra zona de estudio. Conociendo la variación del terreno que presenta la zona del municipio de Ecatepec de Morelos, Estado de México, podemos iniciar obteniendo los elementos necesarios para la elaboración de un modelo digital de elevaciones el cual servirá como modelo base para poder procesar los datos y que se puedan representar de manera gráfica en el Sistema de Información Geográfico que se elaborará.

Debido al tipo de terreno que presenta nuestra zona de estudio en este municipio, que principalmente es llano, propio para la vegetación secundaria y matorral, se puede determinar que es una zona susceptible a inundaciones, pues como antecedente histórico se sabe que el municipio de Ecatepec de Morelos pertenece a la parte central de la Cuenca de México y está ubicado sobre la vertiente de la sierra de Guadalupe. La sierra de Guadalupe es de un perfil accidentado, con alturas muy variables.

Técnicas para el análisis e interpretación de datos geospaciales de relevancia en la zona de estudio.

Dentro de las Metodología que pueden ayudar a generar una capa de resultados para nuestro caso de investigación, nos basaremos en la parte de las evaluaciones multicriterio.

Para comenzar se requiere de una Evaluación Multicriterio (EMC), las evaluaciones multicriterio proveen de herramientas que permiten el análisis de las propiedades entre las alternativas de selección. Un análisis equilibrado de todos los factores asociados a un problema.

Estas técnicas se basan en la ponderación y compensación de valores que van a influir de manera positiva (aptitud) o negativa (impacto) sobre la actividad y que deben ser enumeradas y catalogadas previamente.

Es un proceso orientado a la toma de decisiones y a la acción, que busca determinar la preferencia, pertinencia, eficiencia, efectividad, impacto y sustentabilidad del uso de recursos, actividades y resultados en función de objetivos pre-establecidos o criterios definidos.

Para trabajar las evaluaciones multicriterio, se requiere del trabajo de diferentes métodos para la interpretación de los datos obtenidos en base a un problema establecido.

Los métodos de evaluación simples son aquellos que realizan análisis a partir de un solo objetivo, los métodos de evaluación complejos pueden trabajar con varios objetivos simultáneamente y se pueden clasificar en cualitativos, cuantitativos y mixtos.

Los cuantitativos capturan una realidad estética y objetiva con valores cuantificados, los datos son de tipo ordinales, de intervalos lineales o de razón.

Los cualitativos otorgan información sobre juicios, actitudes o deseos, estos se pueden organizar a partir de encuestas, observaciones, dinámicas de grupo, entrevistas o técnicas proyectivas, junto con los métodos cuantitativos permiten una evaluación integral y holística teniendo así los métodos mixtos.

Los métodos de valoración son para establecer la importancia de los factores, los cuales son:

- Método Delphi, en el cual los pesos se obtienen a través de la consulta de estos valores con alguna persona experta en relación al tema o problema que se establece.
- Método de Lógica Difusa, describe la posibilidad de que una localización sea miembro de un conjunto determinado, puede expresar la transición gradual desde la pertenencia o no a un conjunto. Esta técnica es una potente herramienta para la representación geográfica de entidades con límites imprecisos, ejecución y análisis basados en SIG, ya que es capaz de manejar la incertidumbre acerca de los datos geográficos. Reglas de decisión o representación de conceptos imprecisos.
- Método de Jerarquías Analíticas o comparación por pares, es capaz de emplear variables cualitativas y cuantitativas frente a múltiples objetivos. Es un método de descomposición de estructuras complejas en sus componentes, ordenando a estos en una estructura jerárquica, donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia y sintetiza para determinar qué variable tiene la más alta prioridad.

Los Datos Aplicados.

En la elaboración digital de esta investigación, se recolectaron los datos relevantes para el desarrollo de la metodología elegida.

Como fuente principal de la información utilizada en la elaboración de un SIG, existen alternativas dentro de portales o páginas certificadas por organizaciones encargadas de la creación y compartición de esta información.

Los portales de datos se pueden localizar o encontrar dependiendo de la información que uno desea encontrar. (Fabela, 2017).P45

Con la información encontrada para el área de estudio se describieron diferentes temas en los que se considera la existencia de uno o varios factores que influyen de manera directa o indirecta en el desarrollo de la vulnerabilidad que se presenta cuando se encuentra un proceso natural que puede derivar en una inundación, afectando a los habitantes y el entorno donde ocurre.

Un SIG está compuesto de datos que tienen características similares principalmente referenciados por una ubicación geográfica, que absorbe diferentes componentes temáticos y una relación espacial con las entidades y su temporalidad. Estas características son representaciones dentro del mundo real, las cuales se pueden separar en diferentes en diferentes fenómenos, almacenando información en su base de datos geográficos, los cuales son representados de manera digital como puntos, líneas, polígonos, superficies y redes.

En un SIG se trabaja con datos georeferenciados mediante procedimientos de análisis y gestión de los datos, estos procedimientos se ejecutan con la entrada de datos, su manipulación, la edición, modelización, análisis y salida de los datos. Teniendo un proceso lógico para la interpretación de datos requeridos usando las herramientas existentes en las aplicaciones o softwares correspondientes.

Mediante una herramienta que se puede trabajar en el software de ArcMap, se genera una capa que identificará de manera gráfica las zonas de vulnerabilidad en una distancia específica considerando la información de los datos conseguidos y así generar el mapa de riesgos para la población afectada considerando como punto clave el lugar donde el agua logró subir la mayor altura promediada.

Para la recopilación de información documental, estadística y cartográfica se accedió a los portales con datos abiertos del país.

Jerarquías Analíticas.

Para esta investigación se realizó el método de jerarquías analíticas, debido a que es la técnica en la que se puede proponer una representación de las zonas afectadas y las zonas más vulnerables para el caso de inundaciones en el municipio de Ecatepec de Morelos en el Estado de México, considerando distintos criterios que servirán de apoyo para la comprensión que un desastre de esta magnitud puede o ha afectado a una zona urbana.

Mediante el método de jerarquías analíticas se obtienen las variables para su análisis y poder conocer las zonas más aptas para el desarrollo de la investigación. Dentro de nuestro caso de estudio en relación a este desastre natural, es un proceso orientado a la toma de decisiones y a la acción que busca determinar la preferencia, pertenencia, eficiencias, efectividad, impacto y sustentabilidad del uso de recursos, actividades y resultados en función de objetivos pre-establecidos o criterios definidos.

Primero se establece un foco, que es el objetivo general y principal: seleccionamos un proyecto que informe y/o mejore la calidad de una zona geográfica específica. Una vez definido el foco se pueden definir los criterios.

Los criterios son los distintos aspectos de la realidad que inciden en las ventajas o inconvenientes de las alternativas disponibles como soluciones. Se requiere que los valores contenidos en los diversos mapas de criterios sean transformados en unidades comparables. Las distintas alternativas son evaluadas según los criterios establecidos que son relevantes para el objetivo principal.

El método de Jerarquías Analíticas establece una matriz cuadrada generada por los valores dentro de la escala de Saaty (Tabla 2), en la cual se asignan valores de intensidad, es decir, valores de importancia para los distintos criterios.

El cálculo de la prioridad se realiza en función de comparaciones a pares con respecto a un criterio dado. Para comparar los elementos se forma una matriz y se pregunta: ¿Cuánto supera este elemento (o actividad) al elemento con el cual se está comparando- en la medida en que posee la propiedad, contribuye a ella, la domina, influye sobre ella, la satisface, o la beneficia?.

Para obtener la matriz cuadrada con los valores de filas y columnas definidos por el número de variables a ponderar, así se crea una matriz de comparación entre pares, al elaborar el proceso de Normalización, es decir, la estandarización de los datos a un rango de valores específicos con la finalidad de tener la misma escala de valor para las alternativas de cada criterio y se procede a comparar la importancia de uno de ellos sobre los demás. Posteriormente se determina el eigenvector el cual establece los pesos. El eigenvector proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores.

ESCALA DE SAATY

Intensidad	Definición	Explicación
1	De igual importancia	2 actividades contribuyen de igual forma al objetivo
3	Moderada importancia	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra
7	Muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la práctica
9	Extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra, es absoluta y totalmente clara
2,4,6,8	Valores intermedios	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes
Recíprocos	$a_{ij}=1/a_{ji}$	Hipótesis del método

Tabla 2. Tabla de valores en la escala de Saaty. Fuente: Pacheco, 2008

Con la elaboración de este método se podrán analizar las variables que determinan cambios fuertes en el resultado final y la estabilidad de las alternativas en cuanto al cambio de valores (valores alternativos y pesos).

Mediante las herramientas que se pueden trabajar en el software de ArcMap, se pretende generar una capa que identificará de manera gráfica las zonas de vulnerabilidad en una distancia específica considerando la información de los datos conseguidos y así generar el mapa de riesgos para la población afectada considerando como punto clave el lugar donde el agua logró subir la mayor altura promediada.

Con la recolección de los datos, se aplicará la metodología para estimar la peligrosidad pluvial a través de un índice cuantitativo distribuido espacialmente y calculado a partir de análisis multicriterio y de la ponderación de diversos factores que permitan una evaluación objetiva en el municipio de Ecatepec de Morelos.

Metodología.

Para poder desarrollar el método de las jerarquías analíticas, requerimos de los datos previamente obtenidos de la zona de estudio. Los cuales mediante diferentes procesos desde su obtención hasta estar correctos para poder ser procesados por los algoritmos y procesos que el método indique, logrando así los resultados para analizar.

Existen diferentes datos que son requeridos durante nuestra investigación, los datos a procesar se obtienen, mediante los portales de datos abiertos, por ejemplo:

- INEGI.
- Portales por parte del gobierno.
- IDEA, Infraestructura De Datos Espaciales Abiertos.
- Portal de Geo información.

Entre otros distintos portales que son propietarios de datos confiables para la investigación.

Dentro de este contenido se desarrolló el proceso de la obtención de los datos en general, hasta tener los datos necesarios con las características adecuadas para ser procesados considerando los pasos a seguir por el método correspondiente.

En nuestra computadora creamos una carpeta dentro de la cual están incluidos todos los insumos que se requieren. Estos datos serán en formato .shp, es un formato para archivos vectoriales que compone de varios archivos que un software de SIG lee como si fuera único, contiene los vértices del objeto geométrico, el índice de los objetos geométricos y una tabla de datos que almacena los atributos de los objetos.

Mediante el trabajo de estos archivos .shp en el software de ArcMap generamos las capas vectoriales que nos ayudaran para la representación de nuestra zona de estudio.

Se debe verificar que los insumos descargados deben tener definido el sistema de coordenadas proyectada correspondiente sobre la cual el software trabaja, en este caso por ser la zona de la República mexicana se utiliza la configuración del WGS84 UTM zona 14N.

Una vez que los parámetros estén bien definidos ejecutamos los datos principales con los cuales trabajamos y elaboramos distintos procesos para determinar el resultado de nuestra investigación.

Para este desarrollo, se enlistan y mencionan la importancia del uso de cada base de datos y la manera en que sirvieron para generar los resultados, estos son:

- **Los límites territoriales de Ecatepec en el Estado de México.** Con estos datos, se obtiene el límite de la zona de estudio dentro de la cual trabajamos y utilizamos

para los procesos, la capa correspondiente al límite de la zona de estudio perteneciente a Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Para este punto es necesario considerar los datos municipales. Los cuales fueron descargados del portal IDEA. (Imagen 12).



Imagen 12. Descarga de datos municipales para México. Fuente: <https://www.gits.igg.unam.mx/idea/descarga>

Posteriormente en nuestro programa de ArcMap, observamos y recortamos las capas para poder quedarnos únicamente con el municipio de nuestra preferencia para el proyecto.

Dentro del menú de layers podemos obtener la tabla de atributos donde buscaremos la capa que corresponda al municipio de Ecatepec (Imagen 13). Una vez seleccionada la capa correspondiente, exportamos un nuevo Data que será la representación base de nuestro límite territorial del municipio de Ecatepec de Morelos. (Imagen 14)

Posteriormente extraemos el archivo con el formato .shp en nuestra carpeta creada y generamos la capa del límite del municipio de Ecatepec.

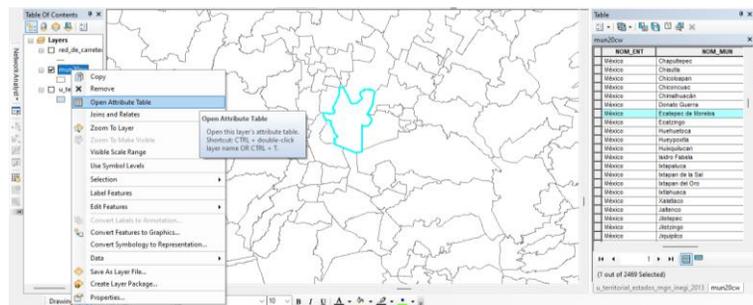


Imagen 13. Atributos del Estado de México. Fuente: Elaboración propia.

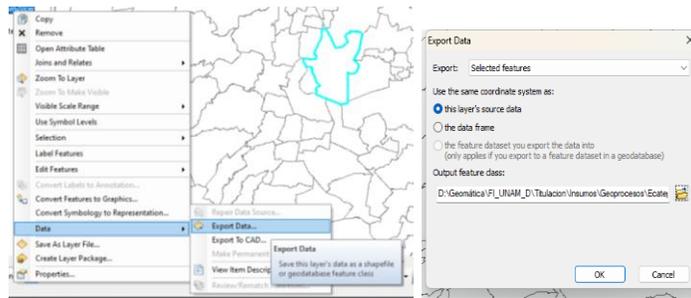


Imagen 14. Generación de capa correspondiente al municipio de Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

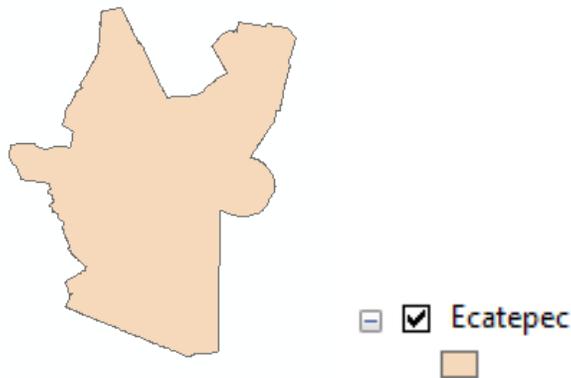


Imagen 15. Resultado del proceso de generación de la capa que contiene la información correspondiente al municipio de Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

El resultado de este proceso fue obtener una capa de límite del municipio (imagen 15), la cual sirvió para generar los datos que requerimos únicamente para la representación gráfica de nuestro espacio de estudio en Ecatepec en el Estado de México.

- **Carreteras y vías de comunicación.** Dentro de este espacio geográfico se consideraron los datos necesarios para la interpretación de las vialidades principales ya que se requieren para mencionar la importancia que conllevan con las inundaciones en las zonas de nuestra área de trabajo.

La obtención de este atributo para nuestra investigación se obtiene de la página de descarga de datos del portal IDEA. (Imagen 16)



Imagen 16. Obtención de atributos de carreteras y vías de comunicación en México. Fuente: <https://www.gits.igg.unam.mx/idea/descarga> .

Al tener la carpeta con la información correspondiente descargada, dentro de nuestro software se obtuvo la representación de las vialidades de la república mexicana, de la cual crearemos la capa de las vialidades principales y de importancia para el municipio de Ecatepec.

Con ayuda de la capa de límite de Ecatepec utilizamos una herramienta del software de ArcGis llamada “Clip”, la cual nos ayudó a generar una capa que contenga la información relacionada de la capa de vialidades dentro de nuestro límite del municipio. (Imagen 17)

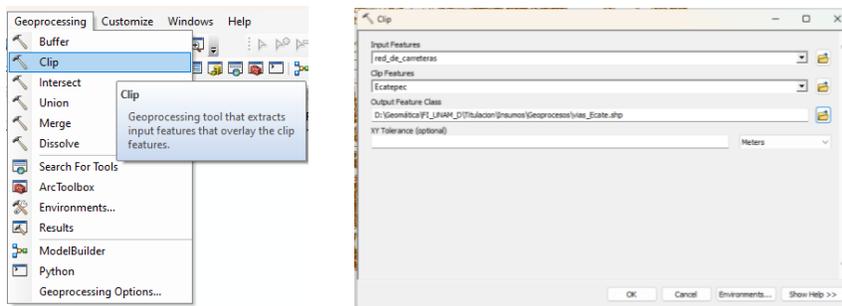


Imagen 17. Procesos para la generación de la capa de vías de comunicación para el municipio de Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

Para tener como resultado las vías dentro de esta investigación, ya que son de gran importancia para poder tener el conocimiento de las zonas por las cuales las inundaciones son más frecuentes y por lo tanto afectan de manera más constante a la población, como se muestra en la Imagen 18

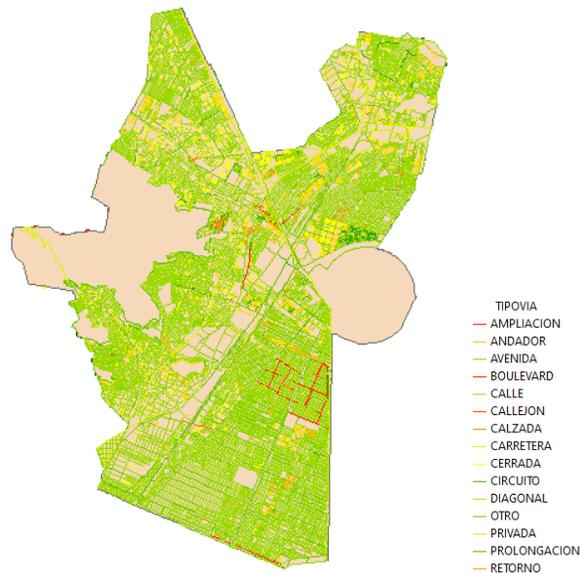


Imagen 18. Resultado final de capa con información correspondiente a las principales vías de comunicación dentro del municipio de Ecatepec de Morelos en el Estado de México. Fuente: Elaboración propia.

- **Forma del terreno.** Para la representación de la forma del terreno, lo más recomendable es usar las curvas de nivel y determinar las diferentes elevaciones que presenta la superficie de estudio y poder tener una representación del estilo de terreno que presenta Ecatepec.

Dentro de este atributo, se descargaron los datos del portal de IDEA, dentro del cual encontramos el archivo .shp de las curvas de nivel que presenta el territorio mexicano (Imagen 19).



Imagen 19. Obtención de atributos correspondientes a las curvas de nivel que existen en México. Fuente: <https://www.gits.igg.unam.mx/idea/descarga>

Dentro del software generamos la representación de la capa de curvas de nivel de la república, siguiendo los pasos y procesos anteriores, generamos la capa de curvas de nivel que corresponden a las curvas de nivel que pertenecen al área de estudio, la cual representa el municipio de Ecatepec de Morelos. Como se muestra en la Imagen 20.



Imagen 20. Representación de capas en formato .shp para las curvas de nivel dentro de México y Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Con la aplicación de la herramienta “Clip” se obtuvo la capa que contiene las curvas de nivel que corresponden o que se ubican en las limitaciones del municipio del área de estudio, como se muestra en la Imagen 21.

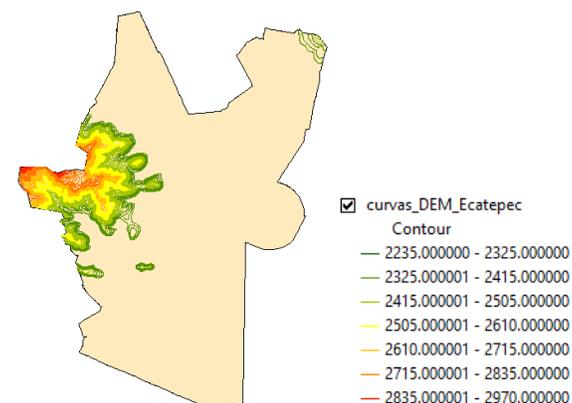


Imagen 21. Generación de las elevaciones y curvas de nivel para el municipio de Ecatepec de Morelos en el Estado de México. Fuente: Elaboración propia.

Con la generación de esta capa, se realizaron distintos geoprocesamientos para poder obtener el resultado de una representación de manera más clara las elevaciones que nuestro terreno presenta para esta investigación.

- **Clima.** Para las representaciones del clima, que es un atributo importante. Considerando que en la zona metropolitana de la Ciudad de México, el clima es muy variado durante todo el año, existen características que debemos considerar para este tema de las inundaciones, ya que el desarrollo de este fenómeno meteorológico, puede ayudar a prevenir e incluso proponer darle mejor uso al agua pluvial durante las temporadas de lluvias, procurando evitar los desastres que provoca una inundación.

Dentro de este atributo podemos encontrar diferentes portales los cuales contienen los datos necesarios para poder trabajar la información que esta capa puede tener. Para la obtención de este insumo, fue necesario recurrir al Portal de Geoinformación 2023. (Imagen 22)

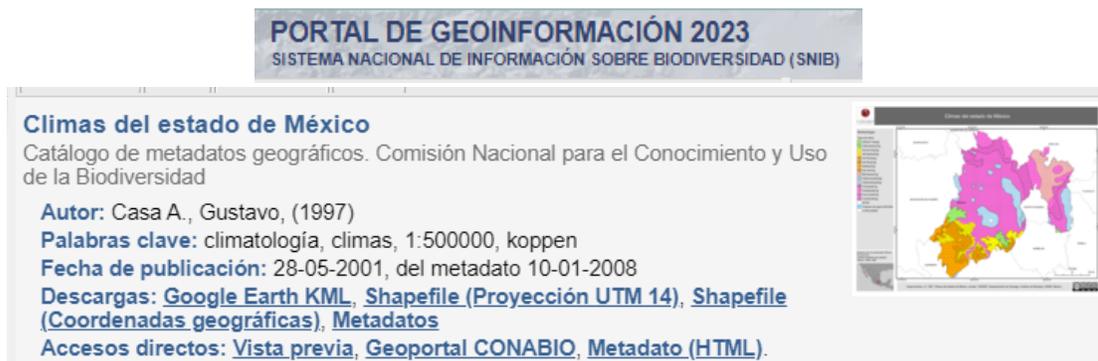


Imagen 22. Portal para la descarga de atributos informativos para los climas correspondientes al Estado de México.
Fuente: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis>

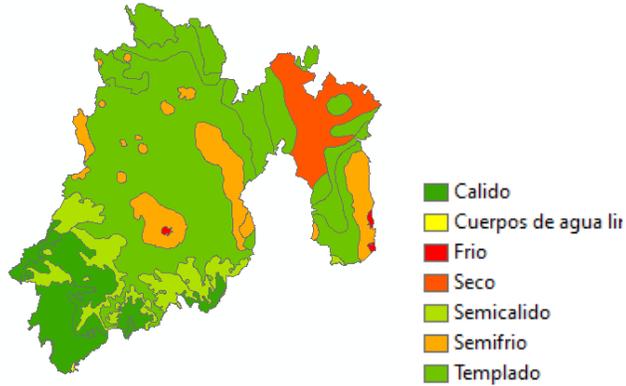
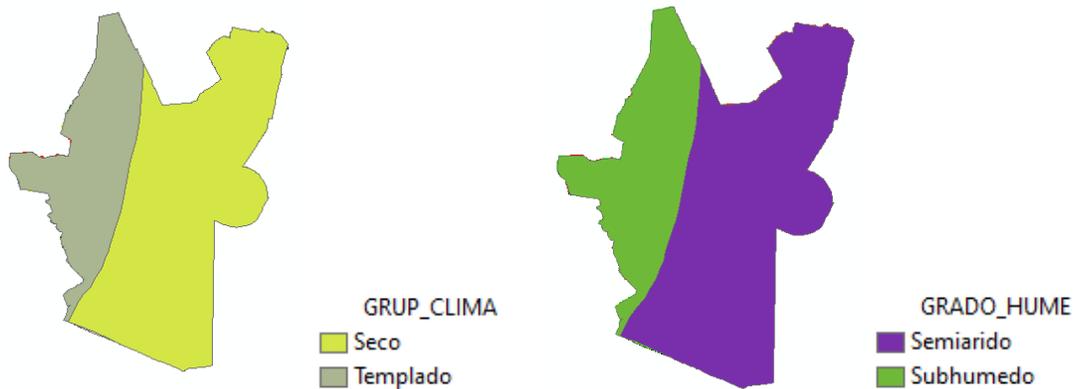


Imagen 23. Representación de los diferentes climas con los que cuenta el Estado de México. Fuente: Elaboración propia.

Para esta capa se pudo obtener la información de diferentes aspectos que se utilizaron, en relación con los climas que se pueden presentar en el Estado de México. Una vez descargados los archivos en proyección UTM 14, continuamos el proceso de elaboración de la capa correspondiente con los datos específicos que presenta nuestra área de estudio. Como se muestra en la Imagen 23.

De igual manera utilizando la herramienta de “Clip” pudimos generar las capas correspondientes al clima, grado de humedad y coeficiente de precipitación para Ecatepec, donde se puede observar que se registran datos que se relacionan con las inundaciones en áreas urbanas y nos ayudó a determinar posteriormente un mayor índice de inundación con relación a este atributo. Como se muestra en la Imagen 24.



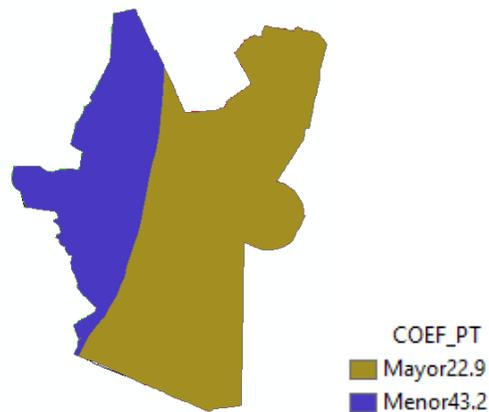


Imagen 24. Creación de las capas correspondientes a los factores relacionados con el clima que presenta el municipio de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Con la generación de estas capas y sus respectivos atributos podremos representar las zonas más propensas a inundaciones en colaboración con diferentes procesos y combinación de capas para poder generar resultados para nuestro análisis.

- **Uso de suelo.** Dentro de nuestro país, la gran extensión de terreno es muy notoria, por lo cual el atributo del uso de suelo toma un valor muy determinante en este estudio, ya que, dentro de esta categoría se pudo obtener distinta información que puede ser aprovechada para determinar las zonas propensas a tener mayores daños durante siniestros como lo son las inundaciones.

Esta capa está relacionada en demasía con la población, el tipo de vivienda que se encuentra en la zona, las cantidades de industrias y vegetación que pudiera localizarse dentro de nuestro límite territorial en el municipio de nuestro interés. Dentro de la obtención de esta información se dedicó a obtener datos del Portal de IDEA. (Imagen 25)



Imagen 25. Atributos relacionados al uso de suelo y representación de las áreas de vegetación que comprende México. Fuente: <https://www.gits.igg.unam.mx/idea/descarga>

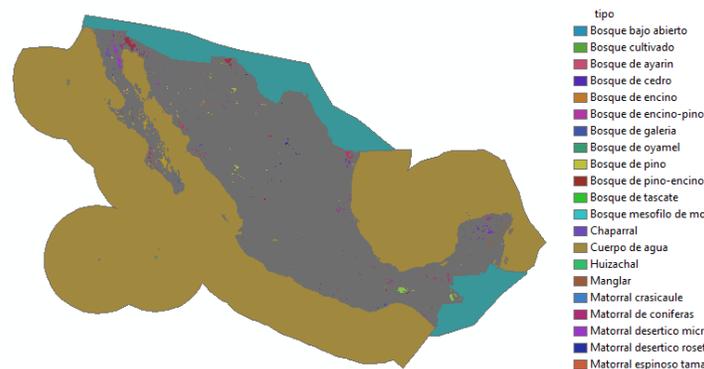


Imagen 26. Archivo de atributos y representación de la información del uso de suelo correspondiente a México.
Fuente: Elaboración propia.

Con los archivos descargados en formato adecuado para poder ser trabajados en el software de ArcGis, tendremos la representación del uso de suelo de todo el territorio mexicano, donde se puede observar que dentro de nuestra extensión territorial el país es muy variado en cuanto a tipos de suelo que se presentan. (Imagen 26)

Se creó la nueva capa que tendrá como principal información el tipo o tipos de suelo con los que cuenta nuestra área de estudio, esto nos ayudó a generar una capa para ser analizada. Con la herramienta “Clip” se pudo obtener la capa que contenga únicamente información de Ecatepec de Morelos. (Imagen 27).

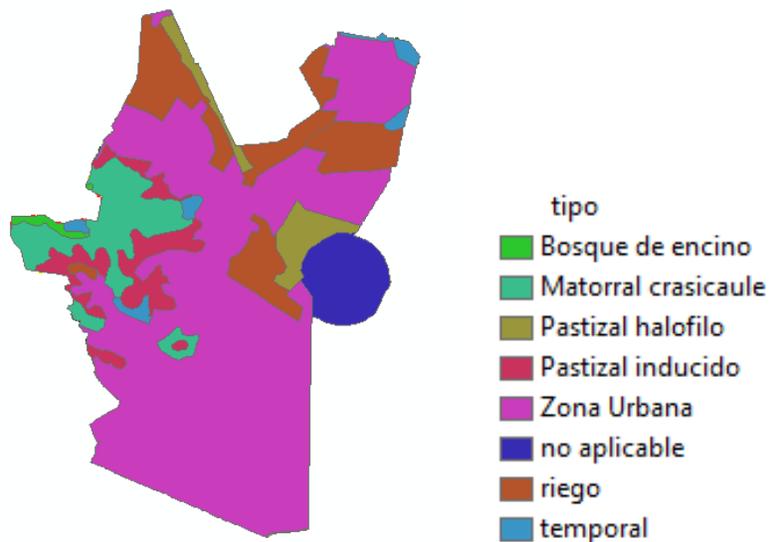


Imagen 27. Creación de archivo .shp para la interpretación de los usos de suelo correspondientes al municipio de Ecatepec de Morelos en el Estado de México Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar nuestra área de estudio presenta una gran extensión de zona urbana lo que provoca que existan posibilidades altas de tener personas afectadas en caso de que exista o se presenten las inundaciones en Ecatepec. Dentro de este estudio se utilizó esta capa y su información para ser combinada con diferentes atributos que ayudaron a determinar un punto importante en el análisis de los resultados finales.

- **Población.** Dentro de un proyecto de investigación donde los daños o causas naturales suelen afectar muchas viviendas, negocios, calles, etc. La población es la principal afectada y que a su vez afecta a nuestro planeta, provocando que se presenten cambios naturales que anteriormente se veían difíciles de vivir, como lo es el cambio climático de nuestro planeta Tierra.

Dentro de este atributo encontraremos diferentes datos descargados de la información que generan las manzanas o lotificaciones y las diferentes colonias que se ubican a lo largo del municipio, ya que ayudaron para poder tener herramientas necesarias para considerar las obras urbanas que pudieran ser amenazadas, al igual que las colonias que pudieran ser más afectadas, así con ayuda del procesamiento de los datos adecuadamente dentro del software podremos utilizar esta capa para su análisis, en términos de afectaciones por inundaciones.

En este atributo los datos fueron obtenidos del portal IDEA, donde podremos tener información relacionada al tipo de vivienda con los que cuentan las diferentes lotificaciones de Ecatepec. (Imagen 28).



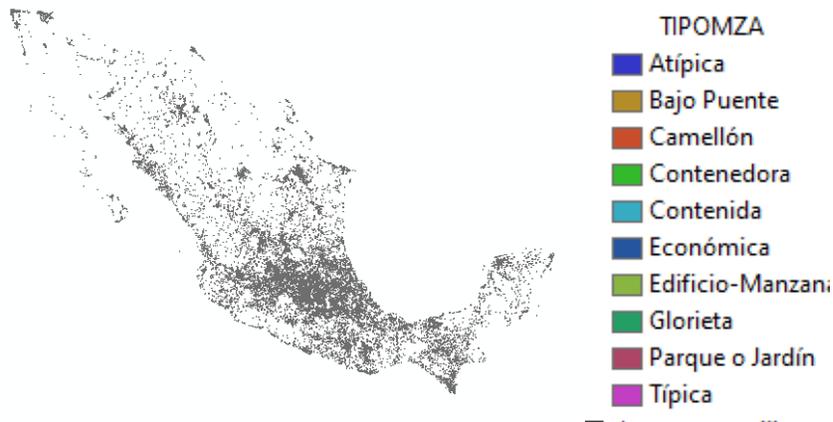
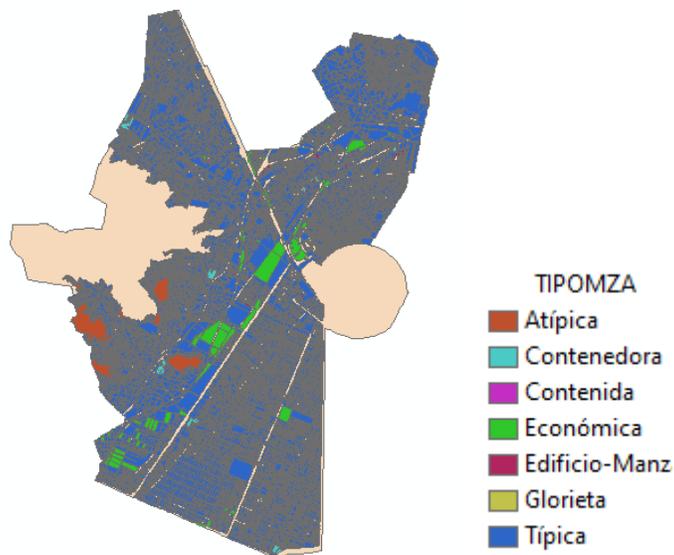


Imagen 28. Atributos relacionados con las diferentes localidades que se pueden encontrar en México. Fuente: <https://www.gits.igg.unam.mx/idea/descarga>

Como es observable los tipos de manzana son muy variados, por lo cual podemos analizar que dentro del territorio mexicano existen muchos parámetros para poder usar de la mejor manera y obtener resultados de distintos aspectos que son de importancia para el país.

Para poder obtener la capa correspondiente a las manzanas que necesitaremos para realizar los geoprocamos de igual manera que las pasadas, se generaron mediante el software de ArcGis, con ayuda de la herramienta “Clip” para tener nuestra capa de atributos con la información relacionada con el municipio de estudio.(Imagen 29).



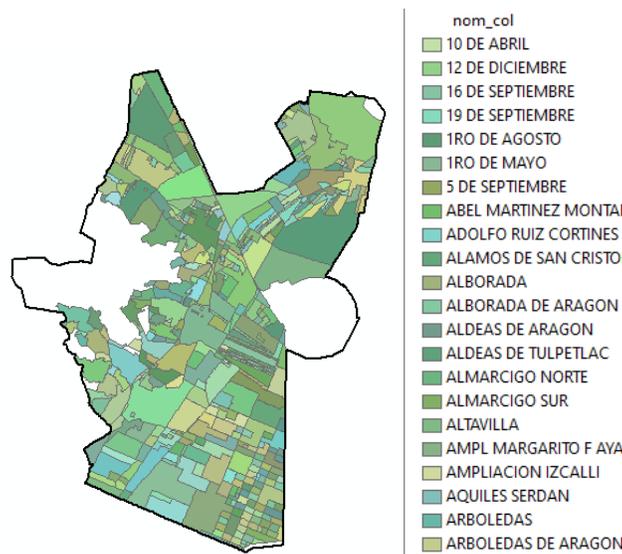


Imagen 29. Representación en formato .shp de las manzanas y colonias correspondientes al área de interés dentro del municipio de Ecatepec de Morelos en el Estado de México. Fuente: Elaboración propia.

Como resultado para la capas de manzanas y colonias obtenidas podemos analizar dentro la tabla de atributos que cuentan con diferentes datos que sirvieron en el desarrollo de esta investigación.

- **Hidrología.** Para el caso de nuestra zona de interés, sabemos desde antes que se encuentra en un valle, esto quiere decir que se encuentra rodeado de montañas, lo cual genera una hidrología, de donde podemos saber que cuando existen lluvias el agua de las montañas desciende, creando corrientes y canales que arriban a las zonas urbanizadas más cercanas.

Para obtener los datos que usaremos dentro de este atributo, descargamos los datos del portal CONABIO, En esta etapa se descargaron los tipos de datos muy relacionados, dentro de este estudio con la importancia de la hidrología. Existen 2 tipos la hidrología lítica, estas son las aguas que se encuentran continuamente en movimiento, sin importar la velocidad y la hidrología léntica, los cuales son todos los cuerpos de agua estancados o quietos que no fluyen, se encuentran en ambientes estáticos donde el agua no se mueve, porque no existen entradas o salidas a otros cuerpos acuáticos.

Se descargan los datos de la hidrología lítica, como se muestra en la Imagen 30, ya que son los datos que se agregaron a la interpretación de los resultados relacionados con un estudio de inundaciones, con ayuda de la representación que existe en Ecatepec de Morelos.

Hidrología lítica del estado de México

Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

Autor: Casa A., Gustavo, (1997)

Palabras clave: hidrología, ríos, 1:500000, corrientes, superficiales, agua, h103, lítica, intermitentes, perenes

Fecha de publicación: 28-05-2002, del metadato 18-03-2008

Descargas: [Google Earth KML](#), [Shapefile \(Proyección UTM 14\)](#), [Shapefile \(Coordenadas geográficas\)](#), [Metadatos](#)

Accesos directos: [Vista previa](#), [Geoportal CONABIO](#), [Metadato \(HTML\)](#).

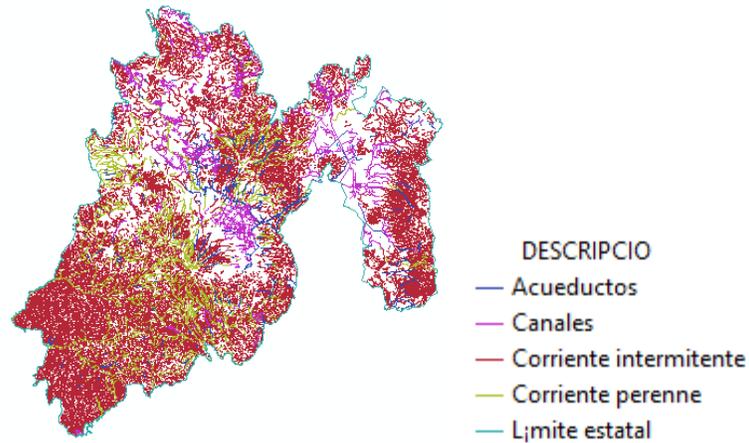


Imagen 30. Atributos en base a la hidrología encontrada para el Estado de México. Fuente: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis>

Se generaron las capas con los insumos específicos con respecto a la zona de estudio, dentro del software con ayuda de la herramienta de “Clip”, podremos recortar la información a un área en específico, dentro del municipio de Ecatepec. (Imagen 31).

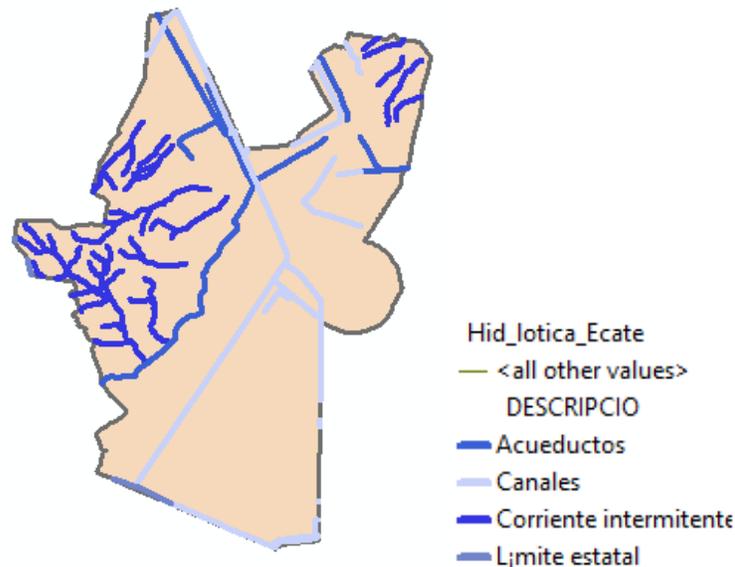


Imagen 31. Representación geoespacial de la hidrología lítica en formato .shp para el municipio de Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

La obtención de todos estos datos informativos, son de mucha ayuda en el desarrollo del método debido a que en cada insumo existe información de la cual nos vamos apoyar para lograr obtener una representación en base a los objetivos que se plantean y así poder brindar una conclusión efectiva.

En este proyecto se generaron 10 criterios diferentes que serán la representación del área que sea más vulnerable a inundaciones en las zonas de interés que se está trabajando y aplicando el método de jerarquías analíticas para un análisis de Evaluación Multicriterio (EMC).

Con el objetivo de ubicar las zonas más vulnerables a inundaciones, en base a diferentes criterios que tengan relación entre este fenómeno natural y la mancha urbana que abarca el municipio de Ecatepec de Morelos.

Los estudios en inundaciones han demostrado que existen criterios importantes a considerar para el desarrollo de una inundación, dentro de esta investigación se generaron una variedad de criterios en base a la información previamente obtenida, para generar un mapa temático reconociendo el daño que se pudiera generar durante este siniestro.

Los criterios son la representación de los distintos aspectos de la realidad que inciden en las ventajas o inconvenientes de las alternativas disponibles como solución, con el objetivo de alcanzar una meta que queremos, contienen diferentes alternativas dispuestas a ser evaluadas y cuentan con factores para la adecuación de las alternativas. Para este proyecto se generaron los siguientes criterios:

- Preferencia por zonas de elevaciones entre 2335 y 2821 MNM
- Preferencias por zonas de uso de suelo de tipo urbano.
- Preferencia por tipos de manzanas con construcciones típicas.
- Preferencia por tipo de vías principales que se puedan localizar en el municipio.
- Preferencia por vías con dos sentidos de circulación.
- Preferencias por vías con menor número de carriles.
- Preferencia por distancias vulnerables a cercanía del punto de elevación más alto en un radio de 10 Km
- Preferencias por áreas subhúmedas en el terreno del municipio.
- Preferencias por las corrientes intermitentes dentro de la hidrología lítica.
- Preferencia por áreas con registro de precipitación más elevada durante temporadas de lluvias.

Considerando la importancia de estos criterios que se trabajaron, se pudo conseguir resultados interesantes para el análisis de la problemática que causan las inundaciones en zonas urbanas.

Justificación de los criterios.

Dentro de este proyecto se justifican y generan los procesos necesarios para que estos criterios tengan una transformación en cuanto a los beneficios que se buscó obtener con esta investigación.

Esta es una de las partes complementarias dentro de la investigación, dentro de este subtema se trabajó con diferentes herramientas dentro del software para poder unificar los criterios en cuestiones de representar las zonas con mayor posibilidad de inundación dentro de la zona de interés.

Dentro del software de ArcGis, ingresamos las capas de interés dentro de las cuales se obtuvo la información para justificar y trabajar con cada criterio especificando, la importancia y la manera en que aportó cada atributo a la investigación.

Se generó un GDB (Geodatabase) en donde se fueron construyendo las diferentes capas que contienen la información que se pudo trabajar y comparar. Un Geodatabase de ArcGIS es una colección de datasets geográficos de varios tipos contenida en una carpeta de

sistema de archivos común, con diversos tamaños, distintos números de usuarios, pueden ir desde pequeñas bases de datos de un solo usuario, hasta grupos de trabajo más grandes, departamentos o corporativos a las que acceden muchos usuarios.

La geodatabase es la estructura de datos nativa de ArcGIS y es el formato de datos primario para la edición y la administración de datos. Las geodatabases tienen un modelo de información completo para representar y administrar información geográfica. Este modelo de información se implementa como una serie de tablas que almacenan clases de entidad y atributos. La lógica del software de la geodatabase proporciona la lógica de aplicación común que se utiliza en todo ArcGIS para acceder a todos los datos geográficos y para trabajar con ellos en una variedad de archivos y formatos. (Esri,1969)

Con ayuda de esta herramienta el proceso Analítico Jerárquico tuvo un mejor acomodo de datos, ya que este proceso se clasifica en el grupo de Análisis Multicriterio Discreto y es capaz de emplear variables cuantitativas y cualitativas frente a múltiples objetivos.

Este es un método de descomposición de estructuras complejas en sus componentes, ordenando estos en una estructura jerárquica, donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia y sintetiza para determinar qué variable tiene la más alta prioridad.

El proceso de normalización requiere que los valores contenidos en los diversos mapas de criterios sean transformados en unidades comparables, dentro de este proceso se estandarizan los datos a un rango de valores específicos con la finalidad de tener la misma escala de valor para las alternativas de cada criterio

Generando un GDB fue posible trabajar con los elementos que el software nos presenta, creando un "File Geodatabase" dentro de ArcCatalog, es la carpeta donde se encuentran los datos seleccionados para el municipio en estudio (imagen 32).

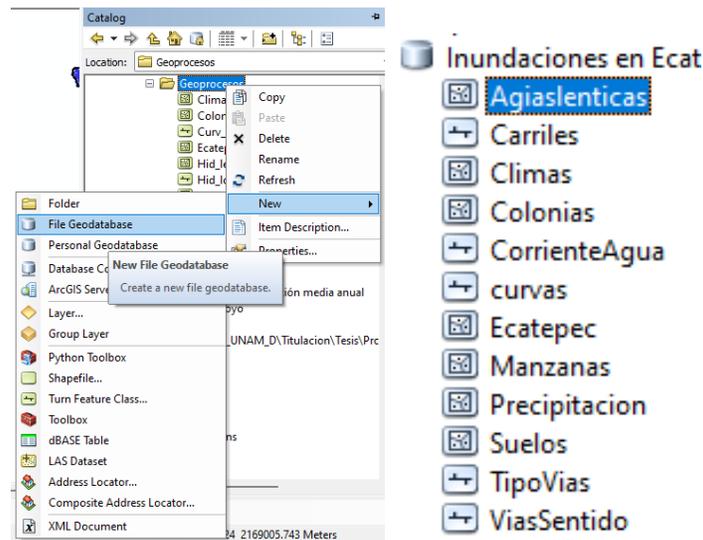


Imagen 32. Estructura del GDB para las inundaciones en Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se agregaron las capas correspondientes a los criterios dentro del GDB para mantenerlas de manera organizada y así ir determinando criterio por criterio los geoprocesos y la importancia que van a tener en el desarrollo de esta investigación.

El primer criterio a justificar es el de “Preferencia por zonas de elevaciones entre 2235 y 2970 MNM”. Como se sabe la zona de estudio está ubicada en el área metropolitana del Valle de México, la cual tiene su punto más alto en el pico del águila a una altura de 3937 MNM.

Para el uso de esta información en el proyecto se tuvo que interpretar la forma que tiene el terreno, para esto requerimos del uso de la capa de curvas de nivel del terreno, con ayuda del software se pudieron generar las elevaciones medias que más interesan, en donde se pudieron determinar las diferentes alturas que presenta el espacio de estudio, posteriormente se aplicó el método seleccionado, ya que con este atributo se pudieron analizar los desniveles de la superficie, lugar por donde el agua desborda de las zonas elevadas pertenecientes a las montañas, razón justificable del porqué es importante trabajar con esta interpretación de las elevaciones del terreno.

El siguiente criterio a justificar fue la “Preferencia por zonas de uso de suelo de tipo urbano”. Dentro de esta investigación un punto importante para conseguir un resultado, radica mucho en la importancia del uso del suelo que le damos a la superficie terrestre, nuestro país cuenta con muchas zonas de diferentes ecosistemas, dentro de una mancha

urbana de igual manera se pueden presentar estas representaciones diferentes del uso de suelo. En esta investigación se generó una representación de las áreas afectadas por el suceso de inundación que dejaron las fuertes lluvias en la zona de estudio, por lo cual se requiere de la importancia de la localización de un uso de suelo construido, ya que en la mayoría de las afectaciones a causa de este desastre, se encuentran las casas habitacionales, siendo la justificación razonable para que estos atributos fueron considerados para la representación de inundaciones.

El siguiente criterio que se justifica es la “Preferencia por tipos de manzanas con construcciones típicas”. Como se ha mencionado con anterioridad este proyecto considera la parte poblacional como un elemento importante, considerando varios atributos que puedan representar diferentes maneras en que la población de la zona habita. En este caso las viviendas acomodadas por manzanas habitacionales se pueden encontrar clasificadas en diferentes tipos en base a su construcción, para esta investigación se optó por tener preferencia por el tipo de manzanas típicas, en las cuales se pueden identificar las manzanas con construcciones más vulnerables a este tipo de desastres naturales en la zona.

Para el siguiente criterio se pretende justificar la “Preferencia por tipo de vías principales que se puedan localizar en el municipio”. Dentro de una zona urbana existen muchas vías de comunicación, calles, caminos, avenidas o vialidades que son de gran importancia para el tránsito de la población, la importancia de este atributo es porque dentro de este estudio de inundaciones y las afectaciones que pudieran generarse dentro de una zona urbana, no se puede dejar a un lado el problema que causa la inundación de las avenidas o ejes principales, causando así muchas complicaciones para los ciudadanos que transitan por estas vías de comunicación, en cualquier mancha urbana estas avenidas se determinan por ser las principales redes de drenaje, para esta investigación algo fundamental es conocer la manera en que el agua se traslada por el sub suelo, se pudo recabar la información sobre los registros de inundaciones en la zona a lo largo del tiempo, haciendo mención a la falta de mantenimiento que se le da a la red de drenaje, en conjunto con las grandes cantidades de basura que se genera al día, es por eso que se necesita de la preferencia por avenidas y ejes viales principales por donde transita la red de drenaje, la preferencia por tipos de vías principales es un criterio elemental a considerar en este tema, para poder unificar con los demás criterios y determinar una área que ubique estas vías principales con mayores posibilidades de sufrir inundaciones que causen conflictos para la población.

Para el siguiente criterio se consideraron las “Preferencias por vías con dos sentidos de circulación”. La congestión de tránsito ha ido en aumento en gran parte del mundo,

constituyendo un peligro sobre la calidad de la vida humana con el aumento de los automóviles y el deseo de usarlos, ya sea por razones de comodidad o estatus, haciendo que se ejerza una gran y creciente presión sobre la capacidad de las vías públicas existentes. Generando impactos negativos inmediatos y a largo plazo, exigiendo esfuerzos para mantenerlo bajo control mediante el diseño de medidas apropiadas, haciendo complicado encontrar las soluciones más apropiadas en diferentes aspectos que pudieran generar conflictos.

En nuestra zona de estudio es conocido que las calles o andadores pueden ser de uno o dos sentidos, esto por la manera en que están distribuidas las colonias, para este atributo elegiremos la preferencia por vías de dos sentidos, considerando a estas como una alternativa para la movilidad de la población que transiten las áreas más vulnerables, pudiendo generar una alternativa para evitar los diferentes problemas que pudieran ocasionar las inundaciones en las vías principales o zonas de mayor vulnerabilidad a inundarse en un día de fuertes precipitaciones.

Dentro de nuestro siguiente criterio a justificar, consideramos la “Preferencia por vías con menor número de carriles”. Dentro de este atributo se puede analizar la manera en que estas vías de comunicación tienden a ser más propensas a inundación debido a su dimensión, considerando que la red de drenaje en ocasiones es insuficiente por estas vías debido a su limitada dimensión, generando que en épocas de fuertes precipitaciones, estas vialidades se vuelvan más propensas a inundaciones, dentro del desarrollo del proceso donde se generará el mapa temático determinando la vulnerabilidad de la zona, siendo este un punto importante a considerar para nuestra investigación.

En nuestro siguiente criterio para justificar, tenemos la “Preferencia por distancias vulnerables con cercanía al punto de elevación más alto en un radio de 10 Km”. Dentro de nuestra zona de estudio se ha podido obtener información que relaciona a la población y la manera en que este municipio se ha ido desarrollando, lo cual dentro de censos de población podemos notar la gran población habitante dentro del municipio. Que existan las posibilidades de inundaciones en zonas urbanas, se relaciona mucho con el riesgo de diversos factores, como son las enfermedades, daños de árboles caídos, postes de electricidad tumbados, entre otros, pero el primer daño directo a la población son las enfermedades que estas aguas tramiten como malaria, dengue, fiebre amarilla o cólera.

Dentro de este criterio se requiere de la localización del punto con mayor elevación, ya que se puede interpretar como el inicio del cauce que seguirá el agua a través de las áreas montañosas, hasta desembocar en el área urbana, generando problemas a los habitantes de las zonas más cercanas, se contempla como la distancia más alejada y por ende menos vulnerable a la que pase los 10km de radio, que en base a los datos investigados, es el

área promedio en el cual el agua que viaja por los diferentes caminos se estanca buscando los diferentes medios de desagüe para liberar las manchas urbanas. Considerando que las inundaciones pueden afectar de manera severa en la población, dentro de este atributo podremos conocer el radio de las colonias que en base a nuestros criterios para una inundación, se vuelven vulnerables a diferentes problemáticas que ocurrirían en caso de inundaciones por las fuertes precipitaciones.

El criterio que sigue se refiere a la “Preferencias por áreas subhúmedas en el terreno del municipio”. Dentro de nuestra investigación el aspecto climático toma un valor a considerar de gran importancia, si bien, sabemos que dentro del centro del país las temperaturas pueden ser variadas, se genera un registro para un tipo de clima dentro de las diferentes zonas del Valle de México, considerando las diferentes estaciones del año que contemplan fechas establecidas, por lo cual, para este criterio, el clima es factor para generar inundaciones en diferentes zonas de todo el Valle de México, para esta investigación, se van a considerar con prioridad las áreas subhúmedas presentadas en el terreno, debido a que las características que se pueden encontrar en estas áreas, nos indican la existencia de agua, que es el elemento principal para las inundaciones y así ubicar las zonas vulnerables para este tipo de desastre natural que se puede suscitar en una zona urbana como lo es el municipio de Ecatepec de Morelos.

En relación al siguiente criterio el cual se refiere a la “Preferencia por las corrientes intermitentes dentro de la hidrología lítica”. En un área urbana rodeada por diferentes montañas o elevaciones de terreno, es muy susceptible que dentro de la temporada de fuertes precipitaciones se generen corrientes que a su vez puedan salirse de control y crear fuertes o grandes daños de inundaciones para las áreas urbanas más cercanas a estas formaciones del terreno. Es por eso que la elección de este atributo como un criterio muy necesario es el reconocimiento de las vertientes existentes que pudieran generar corrientes de agua que se trasladan por las laderas de los ríos hasta las zonas urbanas.

Dentro de nuestra investigación la combinación de estos elementos que son consecuencias naturales existentes, podremos reconocer las corrientes de mayor longitud que serían las principales corrientes que aumentan su cauce en caso de que se hagan presentes las fuertes precipitaciones que abarquen el municipio de Ecatepec de Morelos.

El último criterio que pondremos en análisis, será la “Preferencia por áreas con registro de precipitación más elevada durante temporadas de lluvias”. Se sabe que durante una parte del año las lluvias son constantes y en muchas ocasiones muy fuertes, generando grandes problemáticas con las inundaciones en el municipio, dentro de este criterio se encontró un archivo que ayuda a reconocer las áreas que mediante un registro de precipitaciones durante las temporadas de lluvias, serán herramienta para la creación de una capa que

contenga datos geoestadísticos para ser considerado parte de la unificación final, dentro de la vulnerabilidad que pudiera existir para el área de estudio de esta investigación.

En base a todos estos criterios mencionados y justificados, es posible empezar a elaborar el método de jerarquías analíticas enfocadas en el objetivo principal de la investigación.

Diseño de alternativas para los criterios.

Dentro de este apartado se mostraran los pasos y procesos que abarcan el método utilizado para generar las capas necesarias para obtener los resultados y poder analizarlos con respecto a las alternativas seleccionadas. Las jerarquías que trata el método de AHP son aquellas que conducen un sistema hacia un objetivo deseado como la solución de conflictos o un desempeño eficiente.

Como recordaremos el método que estaremos poniendo en práctica es el establecimiento de prioridades entre los elementos de la jerarquía para crear una matriz para cada criterio de la jerarquía que permita determinar la prioridad, de los elementos de su nivel inmediatamente inferior. Comparar de a pares estos elementos del nivel inferior, usando una escala de proporciones. (Escala de Saaty)

1. “Preferencia por zonas de elevaciones entre 2235 y 2970 MNM”.

Para la elaboración de este criterio es muy importante conocer el tipo de terreno que estaremos estudiando, se requiere de obtener una capa que haga la representación de las elevaciones necesarias, estas se van a obtener considerando las elevaciones de terreno plano con mayor preferencia, ya que son las zonas donde se inunda debido a la existencia de la mancha urbana.

Para la realización de los procesos necesarios dentro del software de ArcMap, se requiere de la elaboración de un paso previo y como el método lo indica, se obtendrán los valores del eigenvector. Considerando las elevaciones presentadas en la zona de Ecatepec de Morelos en el Estado de México.

Una vez que tenemos establecidas las alternativas y preferencias con las que se trabajara, determinamos los criterios como se muestran en la Tabla 3.

Alternativas / Elevaciones MSN	Preferencias
Terreno plano : 2235 - 2355 MSN	1. Bueno
Terreno de plano a ondulado : 2356 - 2505 MSN	2. Medio
Terreno de ondulado a fuerte : 2506 - 2670 MSN	3. Regular
Terreno fuerte: 2671 - 2820 MSN	4. Malo
Terreno muy fuerte: 2821 - 2970 MSN	5. Muy malo

Tabla 3. Alternativas para las elevaciones de terreno. Fuente: Elaboración Propia.

Como podemos observar se tienen los valores establecidos con las alternativas y preferencias, estos serán los elementos con los que trabajaremos para la elaboración de la matriz de preferencia. Se elaboró la matriz de preferencias, la cual asigna valores numéricos o pesos que contendrá cada valor de elevación en el terreno, que asigna los nuevos valores o pesos que tendrá nuestra información con relación al propósito del proyecto, basándonos en la escala de Saaty, generamos los valores de nuestra matriz de preferencia ubicado en la Tabla 4 para las elevaciones que presenta nuestro terreno de estudio y posteriormente continuando con los procesos del método seleccionado, generamos la matriz normalizada la cual se puede analizar en la Tabla 5, en la cual obtendremos nuevos valores contenidos en los elementos de criterios para transformarlos en unidades comparables.

Matriz de Preferencia					
Elevaciones MSN / Preferencias	1	2	3	4	5
1. Terreno plano : 2235 - 2355msn	1.00	9.00	5.00	3.00	3.00
2. Terreno de plano a ondulado : 2356 - 2505msn	0.11	1.00	5.00	3.00	3.00
3. Terreno de ondulado a fuerte : 2506 - 2670msn	0.20	0.20	1.00	3.00	3.00
4. Terreno fuerte: 2671 -2820msn	0.33	0.33	0.33	1.00	3.00
5. Terreno muy fuerte: 2821 - 2970msn	0.33	0.33	0.33	0.33	1.00
Vector de consistencia	1.98	10.87	11.67	10.33	13.00

Tabla 4 Matriz de preferencia en base a la escala de Saaty para las elevaciones de terreno. Fuente: Elaboración propia.

Matriz Normalizada						
Elevaciones MSN / Preferencias	1	2	3	4	5	suma
1. Terreno plano : 2235 - 2355msn	0.51	0.83	0.43	0.29	0.23	2.28
2. Terreno de plano a ondulado : 2356 - 2505msn	0.06	0.09	0.43	0.29	0.23	1.10
3. Terreno de ondulado a fuerte : 2506 - 2670msn	0.10	0.02	0.09	0.29	0.23	0.73
4. Terreno fuerte: 2671 -2820msn	0.17	0.03	0.03	0.10	0.23	0.56
5. Terreno muy fuerte: 2821 - 2970msn	0.17	0.03	0.03	0.03	0.08	0.34

Tabla 5. Matriz normalizada de las elevaciones de terreno. Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el proceso de los cálculos en las tablas de los datos, como lo indica el método, generamos el resultado obteniendo los valores del eigenvector, en el cual se asignan los nuevos pesos que tendrán nuestros elementos en relación a las alternativas presentadas en Ecatepec, como se muestra en la Tabla 6.

Alternativas / Elevaciones MSN	Eigenvector
Terreno plano : 2235 - 2355 MSN	0.457
Terreno de plano a ondulado : 2356 - 2505 MSN	0.220
Terreno de ondulado a fuerte : 2506 - 2670 MSN	0.145
Terreno fuerte: 2671 - 2820 MSN	0.111
Terreno muy fuerte: 2821 - 2970 MSN	0.067
Suma de Eigenvector	1.000

Tabla 6. Tabla correspondiente a los valores del eigenvector para las elevaciones de terreno. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en estos resultados, se tiene que los valores de mayor peso son los terrenos planos, generando los valores más altos dentro de nuestro eigenvector.

Realizando los procesos en el software seleccionado. Lo primero que debemos considerar es que nuestro método trabaja con datos Raster, esto quiere decir que nuestras capas de criterios deben ser datos Raster, los cuales serán procesados posteriormente para el análisis, por lo cual debemos generar la nueva capa dentro de ArcMap, En nuestra barra de herramientas principal llamada "Arctoolbox", podremos realizar este proceso dentro de la pestaña de "Conversion tools" donde encontraremos la pestaña "To Raster", dentro de esta existen diferentes opciones para generar nuestras capas en datos Raster, para este criterio de elevaciones conocemos que el formato en el que se encuentran nuestras curvas de nivel son líneas de referencia, para poder generar los valores de estas líneas en datos Raster, elegimos la opción "Polyline to Raster", dentro de esta opción elegiremos los

valores de Contorno, ya que contiene la información de las elevaciones que presenta nuestra área de estudio. (Imagen 33)

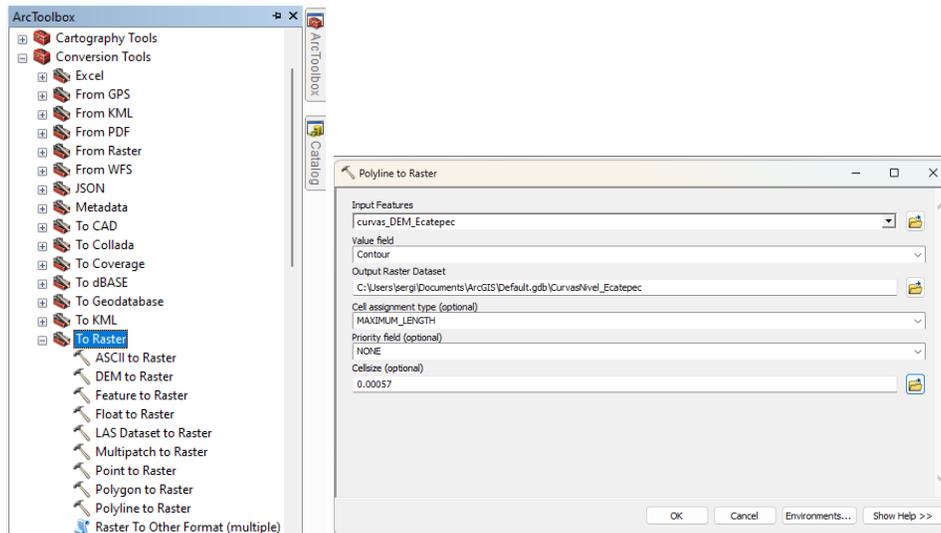


Imagen 33. Procesamiento para obtener la capa Raster del criterio de elevaciones de terreno. Fuente: Elaboración propia

Después de obtener el proceso tendremos como resultado los datos de las elevaciones de nuestra área de estudio en tipo Raster, posteriormente generamos una interpretación de los datos con los valores obtenidos del eigenvector, mediante una reclasificación para nuestra capa de elevaciones, dentro de esta etapa es importante considerar que los valores deben ser números enteros para que el proceso de reclasificación pueda ser procesado para el análisis, podremos modificar los elementos en base a una representación de colores de mayor a menor peso, la cual podemos observar en la imagen 34.

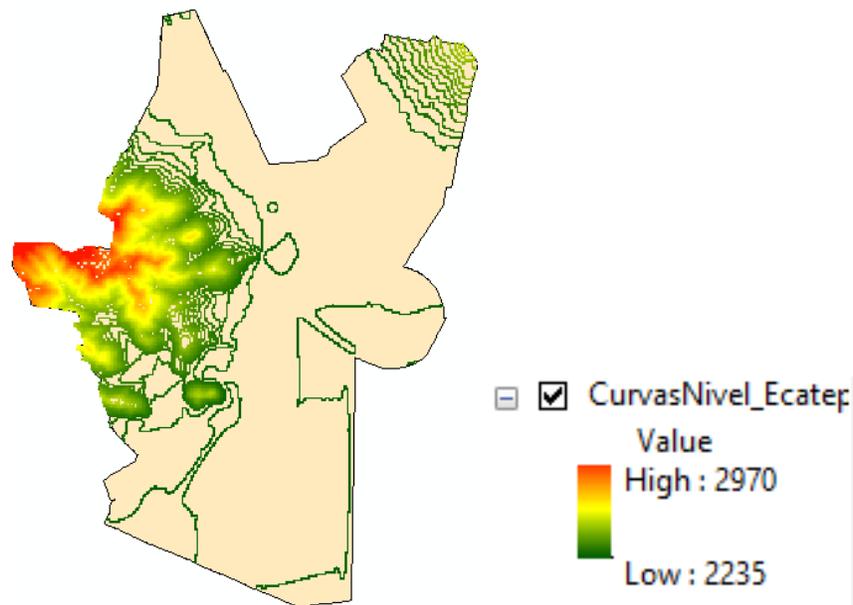
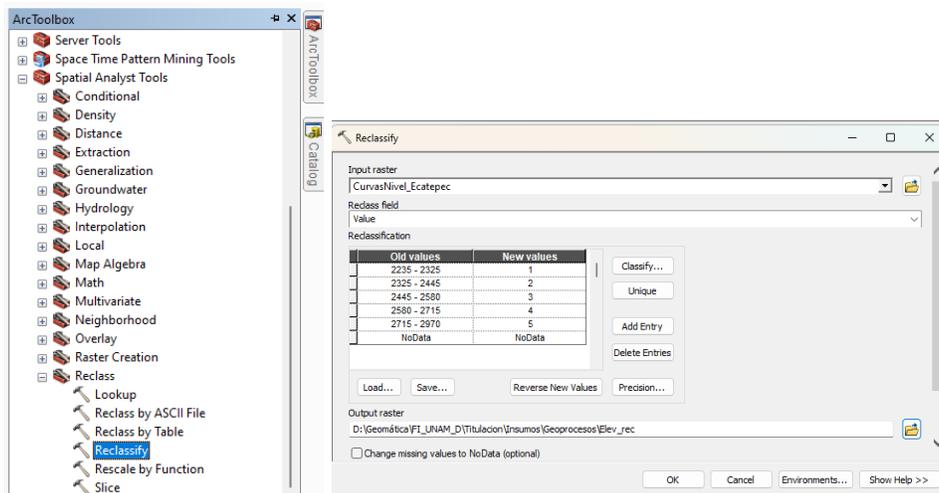


Imagen 34. Representación en formato Raster de las curvas de nivel para Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia

La elaboración de la reclasificación de nuestra capa de elevaciones la obtendremos de la siguiente manera: dentro de la barra de herramientas “Arctoolbox”, encontramos la pestaña “Spatial Analyst Tools”, donde podremos encontrar la opción de “Reclass” y dentro de esta pestaña seleccionamos la herramienta “Reclassify”, esta herramienta genera la capa con valores o pesos enteros para nuestros datos de interés, que previamente obtuvimos en nuestro eigenvector (Imagen 35).



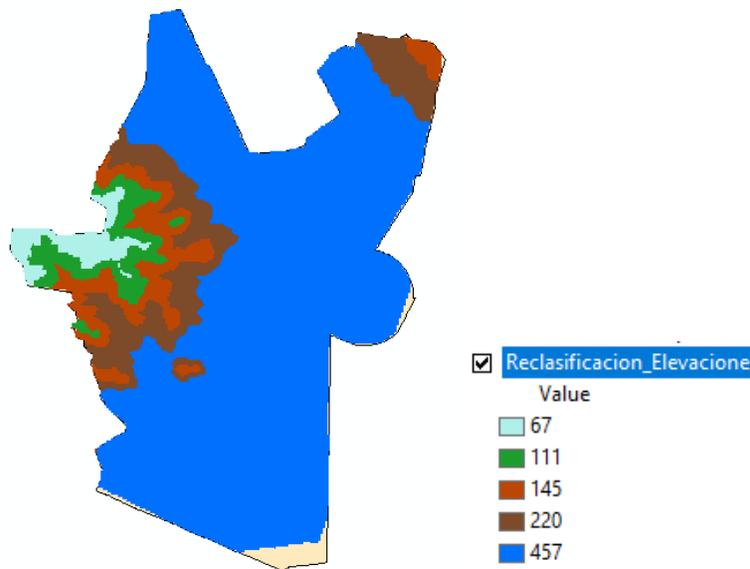


Imagen 35. Reclasificación de los valores en la representación de las elevaciones en Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo nuestras clases definidas en términos de datos numéricos enteros de los valores del eigenvector, se procede a realizar el siguiente paso dentro de nuestro método, donde convertiremos nuestros valores reclasificados a los valores decimales del eigenvector que generamos por medio de las matrices que obtuvimos antes, generando los valores decimales.

Para unificar los valores que vamos a comparar dentro de esta capa de elevaciones es necesario que llevemos nuestros valores decimales del raster a un rango específico, para poder trabajar con operaciones matemáticas nuestros valores raster, es necesario apoyarnos de una herramienta del software ArcMap. Esta herramienta la podemos encontrar dentro de la barra de herramientas principal "Arctoolbox", "Spatial Analyst Tools" donde encontraremos la pestaña de "Map Algebra" donde ubicamos la herramienta de "Raster Calculator" (imagen 36), esta herramienta nos permitirá poder elaborar operaciones matemáticas para nuestro raster, lo primero que debemos hacer es convertir nuestros valores enteros a números decimales y con ayuda de la fórmula "Float (Elevaciones Reclasificadas)/1000" obteniendo una capa con valores decimales, la cual llamaremos criterio de elevaciones vector principal, como se muestra en la imagen 37.

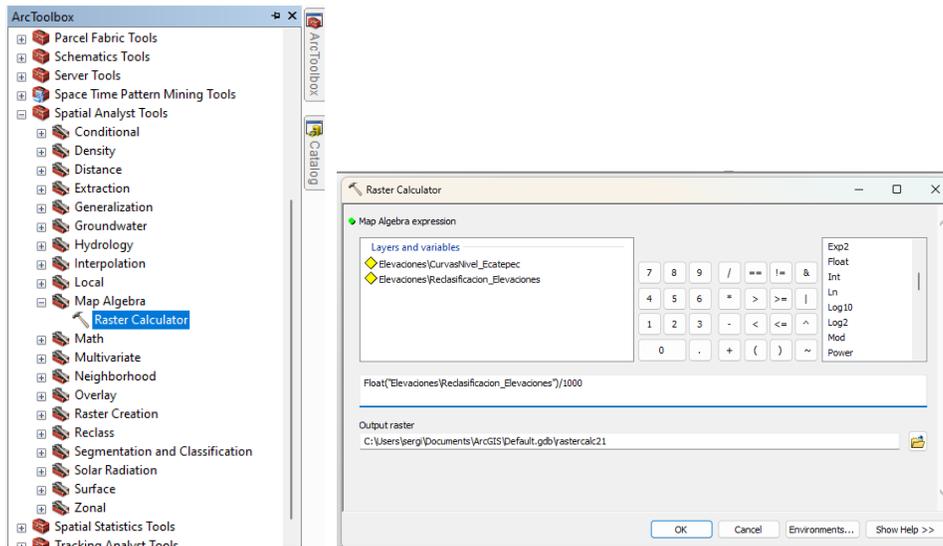


Imagen 36. Procesamiento matemático de información Raster para la obtención de valores decimales. Fuente: Elaboración propia.

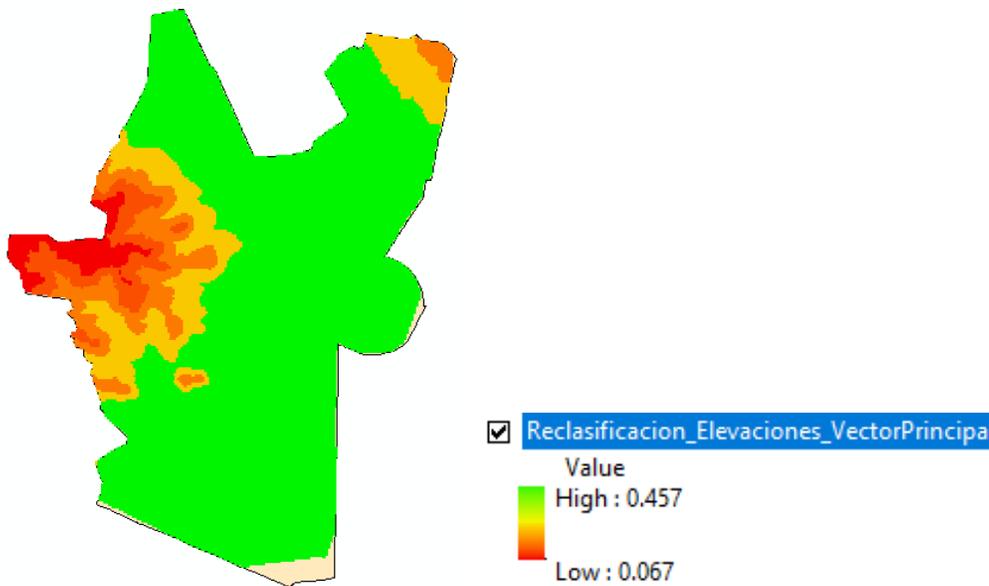


Imagen 37. Resultado de la capa Vector Principal con valores decimales de la capa de elevaciones de terreno. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar nuestro criterio tiene valores denominados “pesos de importancia”, para el caso de las elevaciones en el área de estudio, donde se puede

observar que existen zonas más vulnerables a sufrir inundaciones, posteriormente se propone generar un rango de valores determinado, el cual se utilizara en todos los criterios y que podemos obtener con ayuda de la herramienta “Raster Calculator”, para lograrlo introduciremos una fórmula que nos presenta el método con el que estamos trabajando, este rango de valores será el mismo para todos los criterios que trabajaremos, el cual va del valor 1 al 255, la fórmula para poder obtener nuestra capa correspondiente al factor de elevaciones para ser evaluado posteriormente es:

“(((Capa_Elevaciones Vector Principal - valor mínimo del raster)*(Valor máximo del rango – Valor mínimo del rango)) / (Valor máximo del raster – Valor mínimo del raster)) + Valor mínimo del rango” (imagen 38)

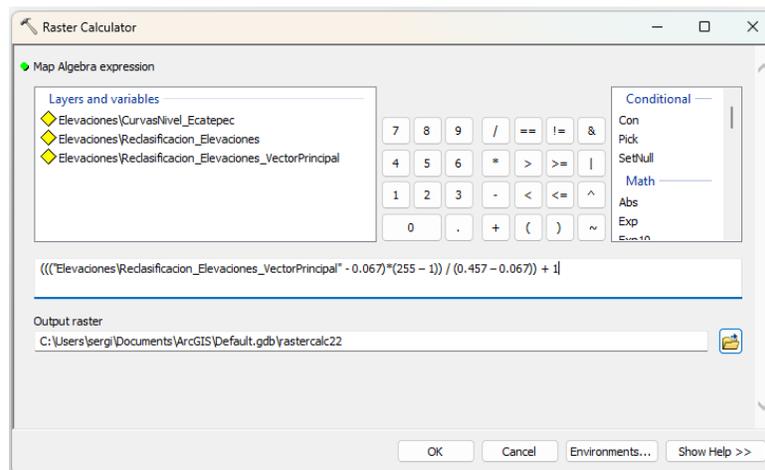


Imagen 38. Cálculo de capa Raster para generación de valores unificados para las elevaciones de terreno en Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Como resultado se obtuvo la capa de tipo raster donde se puede analizar el comportamiento de las elevaciones de nuestra zona de estudio, dentro de un parámetro que abarca los valores desde 1 hasta 255. En conclusión con este proceso generamos los valores con mayor peso para este criterio de elevaciones que posteriormente unificamos con los diferentes criterios que planteamos.

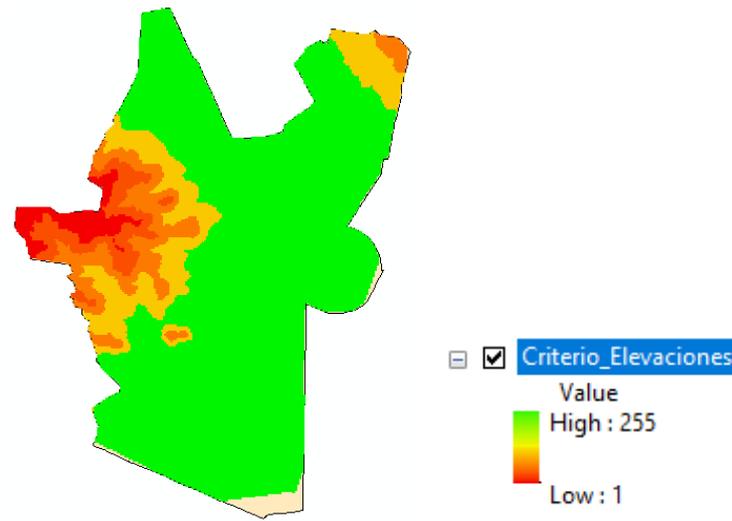


Imagen 39. Resultado generado con valores específicos de 1 a 255, para la unificación del Criterio de elevaciones de terreno en Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en color verde para esta zona la gran parte del terreno en estudio se ubica en la elevación más baja del terreno, mientras que las zonas más elevadas se representan en color rojo, lo cual hace representación de la diferencia entre la mancha urbana dentro del municipio y las zonas montañosas, es decir que el área en color verde se interpreta como la zona de mayor preferencia, es decir, la zona más vulnerable a inundaciones, teniendo como resultado la capa de criterio para elevaciones que se puede observar en la Imagen 39.

2. “Preferencia por zonas de uso de suelo de tipo urbano”.

Dentro de nuestro proyecto de vulnerabilidad a inundaciones es posible considerar la importancia que tienen nuestra sociedad, debido a que es un área que se encuentra en el área metropolitana de la Ciudad de México, la cantidad de población es bastante, lo que puede generar bastantes daños a las áreas de vivienda que se puedan presentar en el municipio. Dentro de este criterio se pretende determinar las preferencias hacia los diferentes tipos de suelo que se presentan en el área que abarca Ecatepec de Morelos.

A lo largo de esta investigación se han podido identificar los diferentes usos de suelo con los que cuenta nuestra zona de interés, para este estudio se obtuvo que los suelos que generan mayores inundaciones y por ende mayores afectaciones son las zonas urbanas, es decir, las zonas donde se presentan las construcciones de diferentes obras de vivienda, empresas, entre otras que tienden a ser las zonas que a través del tiempo en temporada

de fuertes lluvias se inundan con frecuencia, es por eso que para este criterio la preferencia por zonas urbanas tendrán mayor peso, como se muestra en la Tabla 7, pues es la zona que siempre tiende a ser considerada como muy vulnerable para este tipo de desastres en zonas urbanas.

Tipo de suelo / Alternativas	Preferencias
URBANO CONSTRUIDO	1. Daño Extremo
ZONA DE RIEGO	2. Daño Muy Alto
SIN VEGETACIÓN APARENTE	3. Daño Alto
VEGETACIÓN TEMPORAL	4. Daño Medio
BOSQUE DE ENCINO	5. Daño Poco
PASTIZAL INDUCIDO	6. Daño Escaso
PASTIZAL HALÓFILO	7. Daño Bajo
MATORRAL CRASICAULE	8. Daño Muy Bajo

Tabla 7. Tabla correspondiente a los tipos de suelos y sus preferencias en base a las inundaciones en Ecatepec.
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede analizar en la tabla alternativa, se le dio la preferencia por el tipo de suelo urbano construido, hasta llegar a zonas de áreas verdes que tienden a ser menos afectadas por este tipo de desastres naturales que estamos estudiando.

Con las alternativas establecidas y las preferencias que usaremos, se procede a generar la matriz de preferencia para estos datos en relación a la escala de Saaty, para dar la importancia a los aspectos contundentes que se consideraron. Como se muestra en la tabla 8.

La matriz de preferencia nos muestra la relación de interés que se busca en base a los objetivos que tenemos planteados para este criterio dentro de una inundación en área urbana, Posteriormente obtendremos la matriz normalizada, la cual se muestra en la tabla 9.

Matriz de Preferencia								
Tipo de suelo / Alternativas	1	2	3	4	5	6	7	8
URBANO CONSTRUIDO	1.00	9.00	9.00	7.00	5.00	5.00	3.00	1.00
ZONA DE RIEGO	0.11	1.00	9.00	7.00	5.00	5.00	3.00	1.00
SIN VEGETACIÓN APARENTE	0.11	0.11	1.00	5.00	5.00	5.00	3.00	1.00
VEGETACIÓN TEMPORAL	0.14	0.14	0.20	1.00	5.00	5.00	2.00	1.00
BOSQUE DE ENCINO	0.20	0.20	0.20	0.20	1.00	5.00	2.00	1.00
PASTIZAL INDUCIDO	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	1.00	3.00	1.00
PASTIZAL HALÓFILO	0.33	0.33	0.33	0.50	0.50	0.33	1.00	3.00
MATORRAL CRASICAULE	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	1.00
Vector de consistencia	3.10	11.99	20.93	21.90	22.70	26.67	17.33	10.00

Tabla 8. Matriz de preferencia en base a la escala de Saaty para los tipos de suelo. Fuente: Elaboración propia.

Matriz Normalizada									
Tipo de suelo / Alternativas	1	2	3	4	5	6	7	8	suma
URBANO CONSTRUIDO	0.32	0.75	0.43	0.32	0.22	0.19	0.17	0.10	2.50
ZONA DE RIEGO	0.04	0.08	0.43	0.32	0.22	0.19	0.17	0.10	1.55
SIN VEGETACIÓN APARENTE	0.04	0.01	0.05	0.23	0.22	0.19	0.17	0.10	1.00
VEGETACIÓN TEMPORAL	0.05	0.01	0.01	0.05	0.22	0.19	0.12	0.10	0.74
BOSQUE DE ENCINO	0.06	0.02	0.01	0.01	0.04	0.19	0.12	0.10	0.55
PASTIZAL INDUCIDO	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01	0.04	0.17	0.10	0.42
PASTIZAL HALÓFILO	0.11	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.06	0.30	0.57
MATORRAL CRASICAULE	0.32	0.08	0.05	0.05	0.04	0.01	0.02	0.10	0.68

Tabla 9. Matriz normalizada para las alternativas de tipos de suelos. Fuente: Elaboración propia.

Siendo estos nuestros datos de preferencia con los cuales determinaremos el Eigenvector que se muestra en la Tabla 10, obtenido la suma ponderada de cada alternativa entre el número de criterios, teniendo así los valores numéricos que se representan y procesan en el software de Arcmap, donde se podrá generar la capa correspondiente al criterio de los tipos de suelo que abarcan el municipio de Ecatepec de Morelos, dentro del Estado de México.

Tipo de suelo / Alternativas	Eigenvector
URBANO CONSTRUIDO	0.313
ZONA DE RIEGO	0.194
SIN VEGETACIÓN APARENTE	0.125
VEGETACIÓN TEMPORAL	0.092
BOSQUE DE ENCINO	0.068
PASTIZAL INDUCIDO	0.052
PASTIZAL HALÓFILO	0.071
MATORRAL CRASICAULE	0.084
Suma de Eigenvector	1.000

Tabla 10. Tabla correspondiente con valores del Eigenvector para las alternativas de usos de suelo en el municipio de Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento será igual a los demás criterios que consideramos en este proyecto, comenzando con el reconocimiento de los elementos de nuestra capa, como sabemos nuestro método se elabora mediante datos Raster, por lo cual es importante la obtención de una capa para usos de suelo en formato Raster. Nos dirigimos a la barra de herramientas “Arctoolbox”, seleccionamos “Conversion tools”, “To Raster”, para este criterio sabemos que nuestra capa cuenta con datos poligonales, por lo cual la opción para el siguiente procesamiento tiene que ser la opción “Polygon to Raster”, eligiendo los

valores de poligonal de los tipos de usos de suelo que contienen la información que requerimos.

Después de obtener el proceso dentro del software, tendremos como resultado los datos de los tipos o usos de suelo de nuestra área de estudio en tipo Raster, dentro de este paso es necesario reconocer los elementos que tenemos determinados dentro de nuestra capa, en la cual visualizamos todos los usos de suelo que se presentan en nuestra área de estudio la cual podemos observar en la imagen 40.

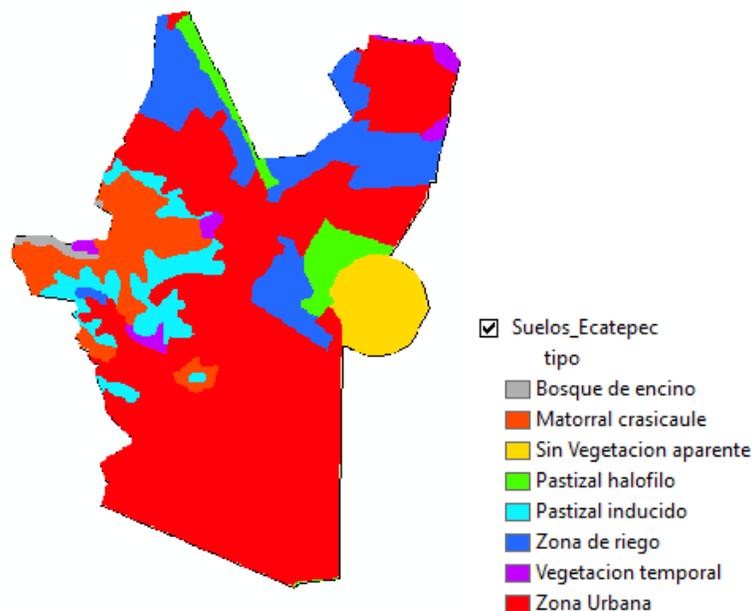


Imagen 40. Capa de tipo Raster con los atributos correspondientes a los tipos de suelo que se encuentran en Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente generamos la interpretación de estos elementos, en valores numéricos, los cuales fueron obtenidos del eigenvector, utilizando la herramienta de reclasificación tendremos los valores del eigenvector de manera entera para cada elemento de los usos de suelo y posteriormente poder generar nuestra capa de criterio en uso de suelos urbanos.

La elaboración de la reclasificación de nuestra capa de usos de suelos la obtendremos dentro de la barra de herramientas "Arctoolbox", seleccionamos "Spatial Analyst Tools", donde se ubica la opción de "Reclass" y seleccionamos la pestaña de "Reclassify",

agregando los valores numéricos para cada campo que tiene nuestra capa de usos de suelos, como se muestra en la Imagen 41.

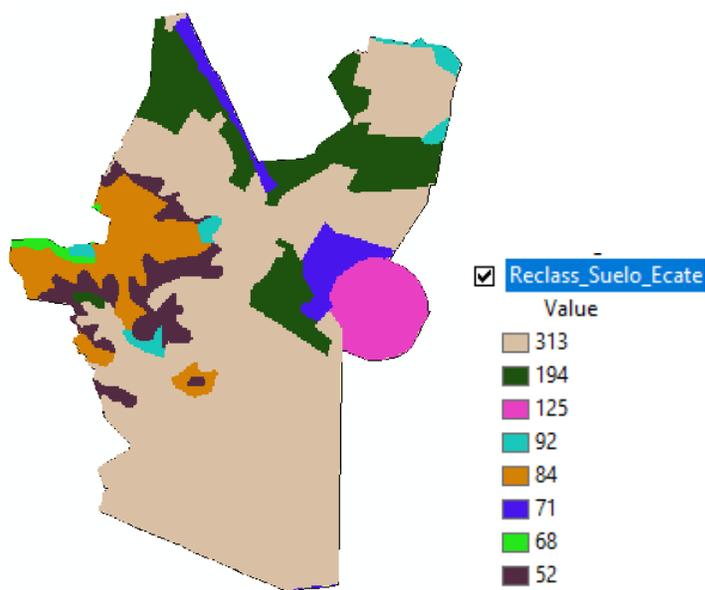


Imagen 41. Reclasificación de valores enteros correspondientes al uso de suelo en Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

Una vez que realizamos la reclasificación observamos que nuestras clases definidas se generaron en términos de datos numéricos enteros completados con los valores del eigenvector, para el siguiente paso como se indica en el método se deberá de realizar la conversión de esos valores enteros a decimales, mediante operaciones matemáticas dentro del software, para esto ubicamos la herramienta necesaria dentro de “Arctoolbox”, “Spatial Analyst Tools” en la pestaña de “Map Algebra”, para seleccionar “Raster Calculator”. Para realizar esta conversión utilizaremos la fórmula “Float (Uso de suelos)/1000”. Donde el resultado de este proceso se obtendrá la capa de valores decimales de nuestro eigenvector original y mediante la edición de los diferentes paneles de colores existentes, podemos generar una representación visual de estos valores considerados de mayor a menor, como se observa en la imagen 42.

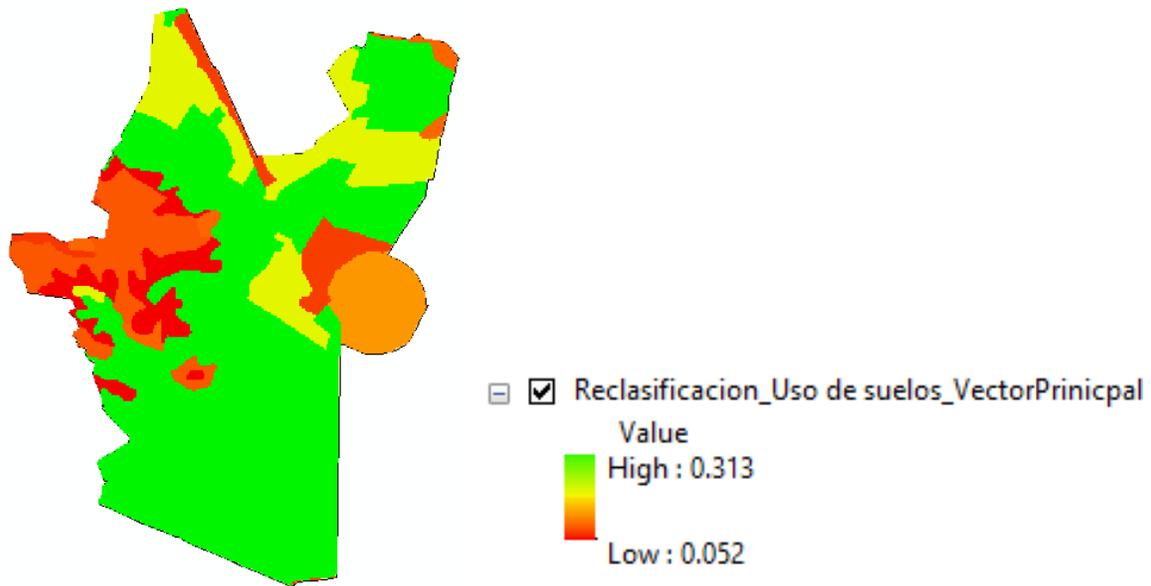


Imagen 42. Generación de capa con valores decimales del Eigenvector. Vector Principal correspondiente al criterio de uso de suelos en Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Después de realizados los procesos correspondientes podemos observar como nuestra capa del criterio de usos dentro de nuestra zona de estudio, genera los valores de “pesos de importancia”, en particular para este caso, se puede observar que la mancha urbana como se estableció previamente es la que tiene los valores más altos, es decir, con mayor grado de vulnerabilidad a inundaciones.

Posteriormente de realizada la conversión, nos dirigimos a la herramienta “Raster Calculator”, dentro de “Map Algebra”, donde haremos la operación adecuada para determinar los valores establecidos en base al eigenvector y poder generar la capa de criterios de suelo para la zona de interés en el rango establecido previamente de 1 a 255, para poder generar el resultado de este criterio y poder unificarlo entre todos los criterios establecidos, se necesita aplicar la siguiente fórmula:

$$\left(\left(\text{Capa_Uso de Suelo Vector Principal} - \text{valor mínimo del raster} \right) \times \left(\text{Valor máximo del rango} - \text{Valor mínimo del rango} \right) \right) / \left(\text{Valor máximo del raster} - \text{Valor mínimo del raster} \right) + \text{Valor mínimo del rango}$$

Como resultado se obtuvo la capa de tipo raster donde se puede analizar el comportamiento del uso de suelo de nuestra zona de estudio, dentro de un parámetro que abarca los valores desde 1 hasta 255. En conclusión con este proceso generamos una

capa que contiene los valores con mayor peso para este criterio de uso de suelos que posteriormente unificamos con los diferentes criterios que planteamos.

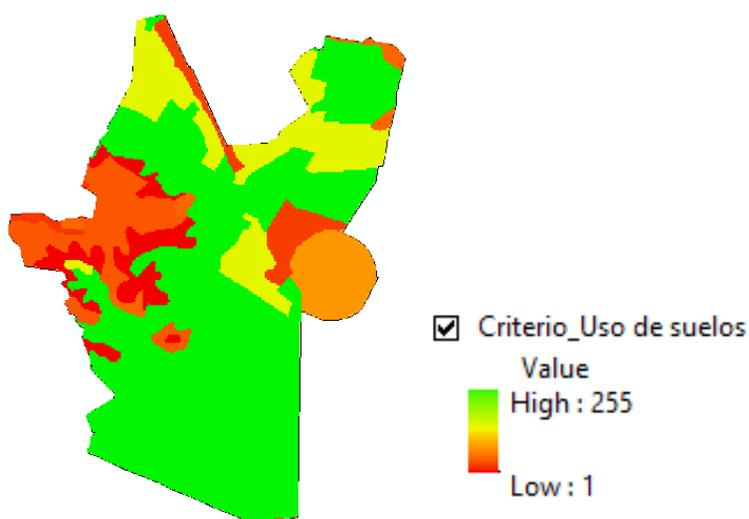


Imagen 43. Resultado del criterio de uso de suelos en capa Raster con valores determinados de 1 a 255 para la unificación de criterios. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Imagen 43, en color verde el uso de suelo urbano, abarca la mayor extensión de terreno, mientras que las zonas más en color rojo hacen referencia a las áreas mayormente de vegetación, lo cual hace representación de la mancha urbana dentro del municipio y las zonas montañosas, es decir que el área en color verde se interpreta como la zona de mayor preferencia, es decir, es la zona más vulnerable a tener daños hacia la población causado por inundaciones, teniendo como resultado la capa de criterio para el uso de suelo que abarca el municipio de Ecatepec de Morelos.

3. “Preferencia por tipos de manzanas con construcciones típicas.”

Dentro de este criterio se pretenden considerar los diferentes tipos de construcciones con las que se ubican en la zona de estudio. A lo largo de esta investigación se ha determinado la importancia de saber la ubicación de las zonas habitacionales, es decir, las manzanas en las cuales se puede ubicar las construcciones, dando lugar a las más endeble o susceptibles a sufrir daños en caso de que ocurra alguna inundación causado por las fuertes lluvias que se presentan en la zona.

Se generó la Tabla 11, en la cual se especifican los tipos de construcciones que pudieran presentarse dentro de las diferentes manzanas que existen para nuestro interés en este proyecto, dentro de las cuales encontramos áreas que representan viviendas, industrias, áreas verdes, centros comerciales, etcétera. Siendo de mayor importancia o vulnerabilidad las viviendas típicas de la población.

Tipo de manzanas / Alternativas	Preferencias
Típica	1. Mayor población vulnerable
Fraccionamiento	2. Regular población vulnerable
Comercial	3. Menor población vulnerable
Edificio	4. Poca población vulnerable
Vegetación	5. Escasa población vulnerable

Tabla 11. Alternativas para el criterio de tipo de manzanas en Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de este criterio se ha decidido acomodar el tipo de manzanas considerando que las casas habitacionales típicas son elementos de mayor índice de vulnerabilidad, con los cuales trabajaremos para la elaboración de la matriz de preferencia. Comenzaremos elaborando la matriz de preferencias, basándonos en la escala de Saaty, para generar la matriz de preferencia que se observa en la Tabla 12, dentro de la cual se generan los valores numéricos o pesos que contendrá cada valor de las viviendas en el terreno, que posteriormente asignaron los nuevos valores o pesos que tendrá nuestra información con relación al propósito del proyecto, para las manzanas con construcciones típicas que presenta nuestro terreno de estudio y posteriormente continuando con los procesos del método seleccionado, generamos la matriz normalizada la cual se puede analizar la Tabla 13, con este proceso se obtienen nuevos valores contenidos en los elementos de criterios para transformarlos en unidades comparables.

Matriz de preferencia					
Tipo de manzanas / Alternativas	1	2	3	4	6
Típica	1.00	9.00	7.00	5.00	3.00
Económica	0.11	1.00	7.00	5.00	3.00
Fraccionamiento	0.14	0.14	1.00	5.00	3.00
Edificio	0.20	0.20	0.20	1.00	3.00
Vegetación	0.33	0.33	0.33	0.33	1.00
Vector de consistencia	1.79	10.68	15.53	16.33	13.00

Tabla 12. Matriz de preferencia elaborada en base a la escala de Saaty. Fuente: Elaboración propia.

Matriz Normalizada						
Tipo de manzanas / Alternativas	1	2	3	4	6	SUMA
Típica	0.56	0.84	0.45	0.31	0.23	2.39
Económica	0.06	0.09	0.45	0.31	0.23	1.14
Fraccionamiento	0.08	0.01	0.06	0.31	0.23	0.69
Edificio	0.11	0.02	0.01	0.06	0.23	0.44
Vegetación	0.19	0.03	0.02	0.02	0.08	0.34

Tabla 13. Matriz normalizada para las alternativas de manzanas habitacionales que presenta Ecatepec.
Fuente: Elaboración propia.

El proceso de la elaboración de estas matrices, es con la finalidad de generar un Eigenvector, que se puede observar en la Tabla 14, el cual será el conjunto de nuevos valores/pesos específicos que se asignan a cada alternativa para poder generar nuestra capa correspondiente a los criterios de interés para esta investigación.

Tipo de manzanas / Alternativas	Eigenvector
Típica	0.478
Fraccionamiento	0.229
Comercial	0.139
Edificio	0.087
Vegetación	0.067
Suma de Eigenvector	1.000

Tabla 14. Eigenvector generado para el criterio correspondiente de manzanas habitacionales en Ecatepec.
Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos generados, se continúa siguiendo los pasos de nuestro método para este criterio y como en criterios anteriores se ha venido trabajando.

En este paso se trabajaron los datos dentro del software ArcMap, ya que sabemos la manera en que este software procesa y se encarga de trabajar los datos, generando la capa tipo Raster, para posteriormente poder generar el análisis correspondiente. Dentro del software existe la barra de herramientas "Arctoolbox", buscando convertir nuestra capa de criterios de manzanas a un Raster con la información que contiene la capa principal. Este proceso consta en ubicar la pestaña "Conversion tools", donde encontraremos la

opción “To Raster”, la cual ayudó a generar la capa en el formato que se requiere para su análisis posterior, como para este criterio trabajamos con datos de polígonos, la opción correspondiente será “Polygon to Raster”.

Una vez concluido el proceso anterior, tendremos como resultado los datos de las manzanas habitacionales de nuestra área de estudio en tipo Raster, la cual podemos observar en la imagen 44. Posteriormente generamos una interpretación de los datos con los valores obtenidos del eigenvector, mediante una reclasificación para nuestra capa de manzanas habitacionales, dentro de esta etapa es importante considerar que los valores deben ser números enteros para que el proceso de reclasificación pueda ser procesado para el análisis, podremos modificar los elementos en base a una representación de colores de mayor a menor peso.

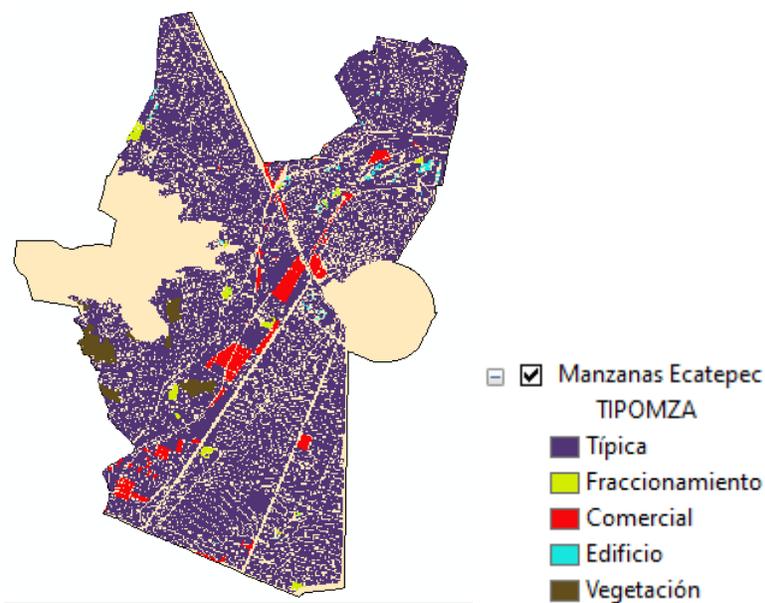


Imagen 44. Representación de manzanas habitacionales en tipo Raster. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se elaboró la reclasificación de valores, para renombrar con los valores obtenidos en el eigenvector, una reclasificación se elabora con la herramienta ubicada dentro de la barra de herramientas “Arctoolbox”, buscaremos la pestaña “Spatial Analyst Tools”, donde se elige la pestaña “Reclass”, continuando con la pestaña “Reclassify”, donde colocaremos los valores o pesos que generamos por parte de nuestro eigenvector y así obtenemos nuestra capa reclasificada con los valores en números enteros del eigenvector, como se observa en la Imagen 45.

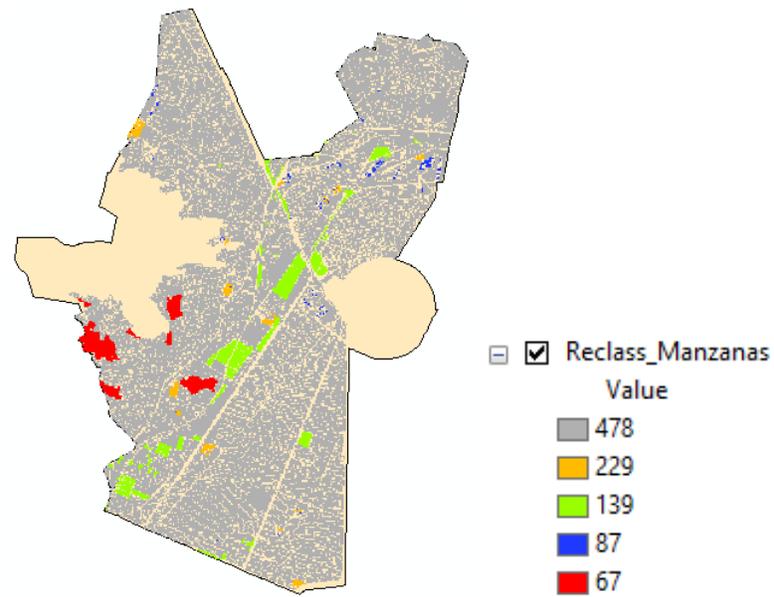


Imagen 45. Proceso de recalcificado y obtención de la capa con valores enteros del eigenvector. Fuente: Elaboración propia.

Con nuestras clases definidas en valores enteros del eigenvector, procedemos a realizar la conversión de estos valores, en nuevos valores reclasificados en valores decimales que fueron los que obtuvimos dentro de las matrices elaboradas previamente.

La obtención de estos valores en decimales ayudó a la unificación para la comparación posterior, es necesario utilizar la herramienta del software dentro de ArcMap y con ayuda de operaciones matemáticas las capas raster generan nuestra capa de criterio correspondiente. La elaboración matemática es una herramienta que encontramos dentro de la barra de herramienta principal "Arctoolbox", "Spatial Analyst Tools", ubicado en la pestaña de "Map Algebra", para poder seleccionar "Raster Calculator", será la herramienta que permitirá generar la operación correspondiente para el raster, convirtiendo nuestros valores enteros en decimales, aplicando la fórmula "Float(Manzanas Reclasificadas)/1000", obteniendo como resultado la capa de valores decimales, la cual nombramos criterio de manzanas vector principal, como se muestra en la imagen 46.

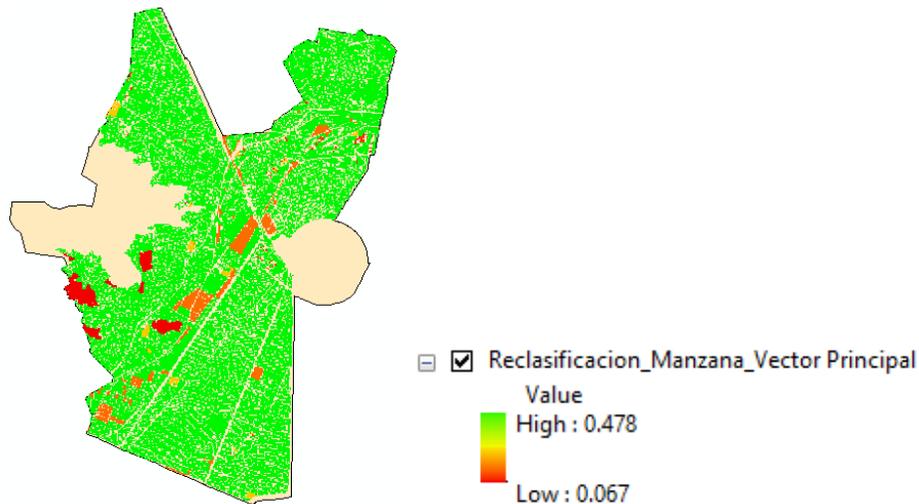


Imagen 46. Cálculo de operaciones Raster, para la obtención de la capa en valores decimales correspondientes al eigenvector e interpretación de los valores reclasificados. Fuente: Elaboración propia.

Para este criterio podemos observar que los denominados “pesos de importancia”, para el caso de las manzanas relacionando las zonas habitacionales, donde analizamos que la gran mancha urbana es muy vulnerable para el caso de inundaciones. Lo cual hace referencia a que el municipio de Ecatepec de Morelos constantemente sufre de este desastre natural.

Para poder tener el criterio de manera uniforme a los demás se continúa elaborando la nueva capa que será el criterio seleccionado, para unificar posteriormente junto a los demás criterios. El rango de valores que manejamos para nuestros criterios va de 1 a 255 y se ejecuta con ayuda de la herramienta “Raster Calculator”, aplicando una fórmula que trabaja el método de Jerarquías Analíticas, para este criterio utilizaremos la siguiente fórmula:

“(((Capa de Manzanas Vector Principal - valor mínimo del raster)*(Valor máximo del rango – Valor mínimo del rango)) / (Valor máximo del raster – Valor mínimo del raster)) + Valor mínimo del rango”

Después de tener el resultado obtenido por el proceso que realizó el software, generamos la capa final para este criterio, denominada “Criterio Manzanas Habitacionales”, este proceso nos generó los valores dentro del rango específico para continuar posteriormente con un análisis en conjunto a los demás criterios como se aprecia en la imagen 47.

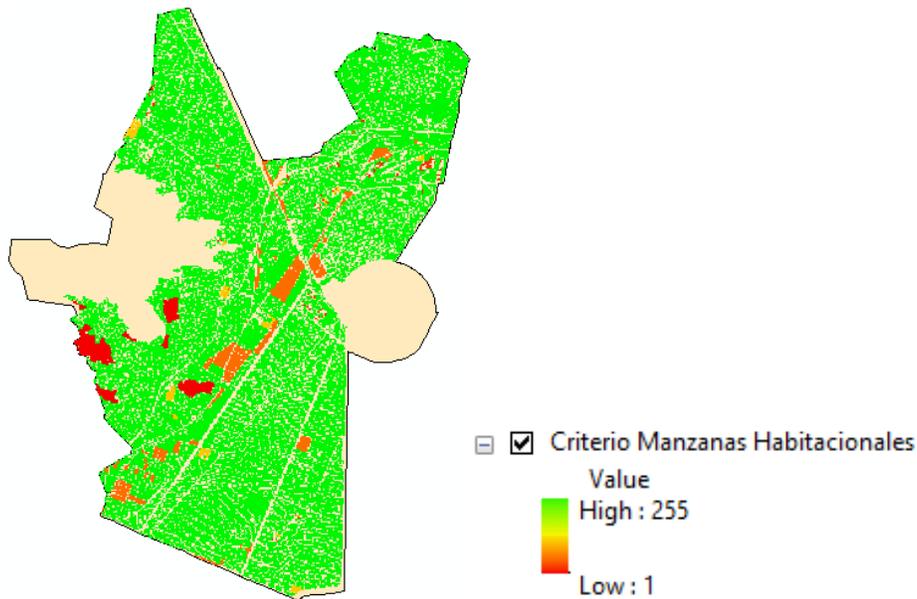


Imagen 47. Generación de la capa de criterio de manzanas habitacionales con rango específico de 1 a 255 para la unificación de criterios finales. Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar y como se definió al comienzo de este proceso, el área o mancha urbana se encuentra en grandes riesgos, debido a diferentes factores, ya que la población ha ido aumentando en grandes cantidades y la construcción de las viviendas en un porcentaje alto no se encuentra en condiciones favorables para poder soportar este tipo de desastres que se pueden presentar, principalmente este municipio es una de las zonas de menos recursos económicos para la construcción de sus viviendas. En este resultado podemos analizar que existen muchas viviendas vulnerables, ya que las áreas que se encuentran en color rojo por lo regular hacen referencia a diferentes áreas especialmente que no se relacionan con viviendas de la población.

4. “Preferencia por tipo de vías principales que se puedan localizar en el municipio”.

Para este criterio se determinaron las vías de comunicación principales con las que cuenta el municipio de Ecatepec de Morelos, al paso del tiempo la mancha urbana se ha ido desarrollando en cuanto al crecimiento de población se refiere, teniendo en cuenta la importancia que conlleva la elaboración de avenidas, calles, carreteras, andadores peatonales, entre otros tipos de vías de comunicación. Estos elementos dentro de un área urbana son de gran importancia, ya que la necesidad de la población de poder contar con un camino de acceso genera diferentes cambios y/o alteraciones a la manera en que se

planea en un inicio la ubicación de la población, estas alteraciones, se ven relacionadas por completo con el ajuste de infraestructura básica para poder satisfacer necesidades de los habitantes.

Un tema importante en la elaboración de este criterio, es la relación de estas vialidades con la red de drenaje, en base al mantenimiento que requieren las diferentes vías de comunicación y específicamente en relación a una inundación, la red de drenaje debería facilitar la liberación de agua dentro de las manchas urbanas, pero existen diferentes tipos de factores que provocan que el servicio de drenaje termine siendo insuficiente para liberar las grandes cantidades de agua que pudieran presentarse en temporadas de fuertes lluvias, por ejemplo, la generación de basura excesiva, es el principal factor para que la red de drenaje no cumpla con su objetivo principal. La contaminación que se genera en una mancha urbana en la actualidad es inimaginable, este factor aunado al aumento masivo de población generan muchos problemas entre la sociedad, en relación a una inundación, el conocimiento de la contaminación en vías de comunicación existentes debe ayudar a concientizar a la población y dar una muestra de la problemática tan escandalosa que genera el hecho de tirar basura en las calles.

Dentro de este criterio se analizó la relación de los tipos de vías que existen, combinados con una representación de la red de drenaje dentro del municipio, teniendo como alternativas principales los andadores peatonales, pasando por calles y avenidas, lugares donde el tránsito de la población es constante, lo cual está involucrando la creación de basura, generando que este factor tome mucha importancia dentro de una inundación, como se muestra en la Tabla 15.

Tipos de vías / Alternativas	Preferencias
Calles	1. Muy Alta posibilidad de inundación
Andadores peatonales	2. Alta posibilidad de inundación
Privadas/Calles Cerradas	3. Media posibilidad de inundación
Avenidas	4. Poca posibilidad de inundación
Calzada	5. Muy poca posibilidad de inundación
Carretera	6. Escasa posibilidad de inundación

Tabla 15. Alternativas de tipos de vías en el municipio de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Una vez establecidos las alternativas con las que este criterio será realizado, se continúa con la elaboración de las matrices correspondientes, comenzando con la elaboración de la matriz de preferencia, donde se asignaron valores de preferencia que contendrá cada alternativa mencionada en base a la escala de Saaty, como se muestra en la tabla 16.

Posteriormente como el método lo indica, se continúa elaborando la matriz de normalizada, la cual ayudó con la obtención de nuevos valores normalizados para cada alternativa y poder convertir los criterios en unidades comparables como se muestra en la tabla 17.

Matriz de Preferencia						
Tipos de vías / Alternativas	1	2	3	4	5	6
Calles	1.00	9.00	7.00	5.00	3.00	1.00
Andadores peatonales	0.11	1.00	5.00	5.00	3.00	1.00
Privadas/Calles Cerradas	0.14	0.20	1.00	5.00	3.00	3.00
Avenidas	0.20	0.20	0.20	1.00	3.00	3.00
Calzada	0.33	0.33	0.33	0.33	1.00	3.00
Carretera	1.00	1.00	0.33	0.33	0.33	1.00
Vector de consistencia	2.79	11.73	13.87	16.67	13.33	12.00

Tabla 16. Matriz de preferencia en base a la escala de Saaty para los tipos de vías. Fuente: Elaboración propia.

Matriz Normalizada							
Tipos de vías / Alternativas	1	2	3	4	5	6	SUMA
Calles	0.36	0.77	0.50	0.30	0.23	0.08	2.24
Andadores peatonales	0.04	0.09	0.36	0.30	0.23	0.08	1.09
Privadas/Calles Cerradas	0.05	0.02	0.07	0.30	0.23	0.25	0.92
Avenidas	0.07	0.02	0.01	0.06	0.23	0.25	0.64
Calzada	0.12	0.03	0.02	0.02	0.08	0.25	0.52
Carretera	0.36	0.09	0.02	0.02	0.03	0.08	0.60

Tabla 17. Matriz normalizada del criterio de tipo de vías. Fuente: Elaboración propia.

Con las matrices previamente elaboradas, se continúa obteniendo el valor del Eigenvector como se observa en la tabla 18, en el cual los tipos de vías tendrán asignados un peso de importancia en base a nuestros objetivos para el caso de las inundaciones, estos valores serán procesados dentro de nuestro software para tener la representación de este criterio.

Tipos de vías / Alternativas	Eigenvector
Calles	0.373
Andadores peatonales	0.182
Privadas/Calles Cerradas	0.153
Avenidas	0.106
Calzada	0.086
Carretera	0.099
Suma de Eigenvector	1.000

Tabla 18. Resultado de la obtención de los valores del Eigenvector para los tipos de vías. Fuente: Elaboración propia.

De esa tabla obtenida se pueden analizar los pesos o valores que se le asignaron a cada alternativa, con el objetivo de tener preferencia por vías mucho más transitadas por peatones, junto con la relación que pudiera tener las limitantes de una red de drenaje que pudiera aparecer para ese tipo de vías, concretando que las carreteras son las vías que podrían contar con una mejor red de drenaje, debido al constante mantenimiento que conlleva una vía de comunicación con tanta importancia para el municipio de Ecatepec.

Una vez definidos las alternativas con sus respectivos pesos de interés, correspondientes al eigenvector, debemos considerar es que nuestro método trabaja con datos Raster, los cuales serán procesados posteriormente para el análisis, por lo cual debemos generar la nueva capa dentro de ArcMap, En nuestra barra de herramientas principal llamada "Arctoolbox", dentro de la pestaña de "Conversion tools" encontraremos la opción "To Raster", dentro de esta existen diferentes opciones para generar nuestra capa con datos Raster, el formato en el que se encuentran los tipos de vías son líneas de referencia, para poder generar los valores de estas líneas en datos Raster, elegimos la opción "Polyline to Raster", seleccionando "Tipo de vías" que será la información que requerimos para el análisis, como se puede observar en la imagen 48.

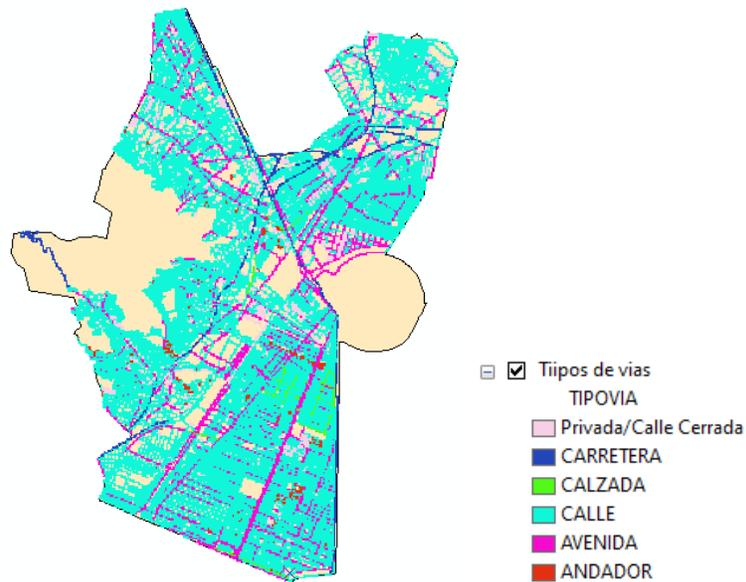


Imagen 48. Generación de capa raster para tipos de vías del municipio de Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo nuestra capa en formato Raster podemos comenzar a generar la interpretación de estos elementos, en valores numéricos, los cuales fueron obtenidos del Eigenvector, utilizando la herramienta de reclasificación tendremos los valores del Eigenvector de manera entera para cada alternativa de tipo de vías y posteriormente poder generar nuestra capa de criterio correspondiente.

La elaboración de la reclasificación de nuestra capa de tipos de vías la obtendremos dentro de la barra de herramientas “Arctoolbox”, seleccionamos “Spatial Analyst Tools”, donde se ubica la opción de “Reclass” y seleccionamos la pestaña de “Reclassify”, agregando los valores numéricos para cada campo que tiene nuestra capa de usos de suelos, como se muestra en la Imagen 49.

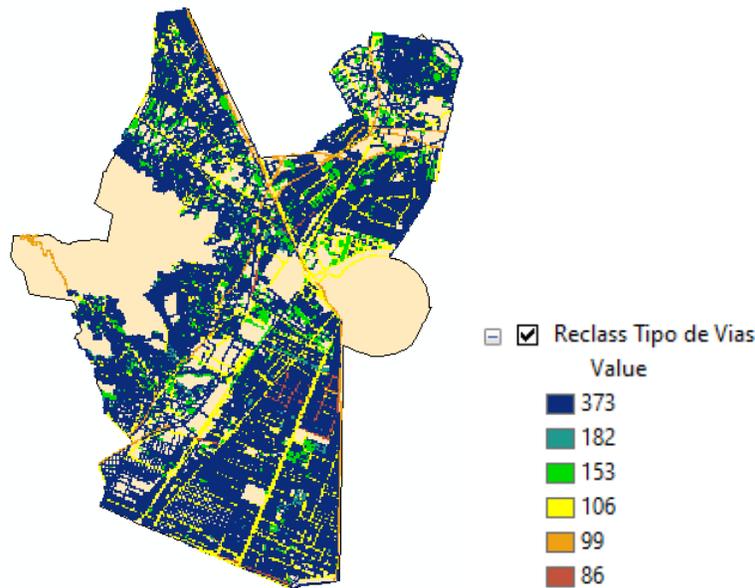


Imagen 49. Proceso y representación de la reclasificación de los valores enteros que se obtuvieron en el Eigenvector para el tipo de vías en Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

El resultado de la reclasificación con asignación de los valores enteros correspondientes al Eigenvector, es analizable, como podemos darnos cuenta, el valor que más peso o importancia podría tener dentro de nuestra área de estudio son las calles y andadores peatonales, ya que para dentro de estas vías de comunicación, la posibilidad de inundación y afectación con daños a la sociedad, son muy comunes.

Estos valores enteros nos dan una representación numérica para el criterio de los tipos de vías, pero estos valores deberán de ser transformados a formato decimal, como en casos anteriores. Para este proceso se necesitan elaborar procesos matemáticos dentro de la capa Raster del tipo de vías, con ayuda de la herramienta ubicada dentro de nuestra barra de herramientas principal "Arctoolbox", "Spatial Analyst Tools", se encuentra la herramienta "Map Algebra", "Raster Calculator", con ayuda de la herramienta correspondiente las operaciones matemáticas se pueden efectuar sobre nuestro Raster y así podemos convertir nuestros valores enteros en decimales, para el uso adecuado en base al método que se está trabajando en esta investigación, la fórmula adecuada usada para este caso es " $\text{Float}(\text{Reclasificación Tipo de Vías})/1000$ ", de manera que tendremos nuestra capa en valores decimales correspondiente al eigenvector, al cual se nombre "Vector Principal", como se muestra en la imagen 50.

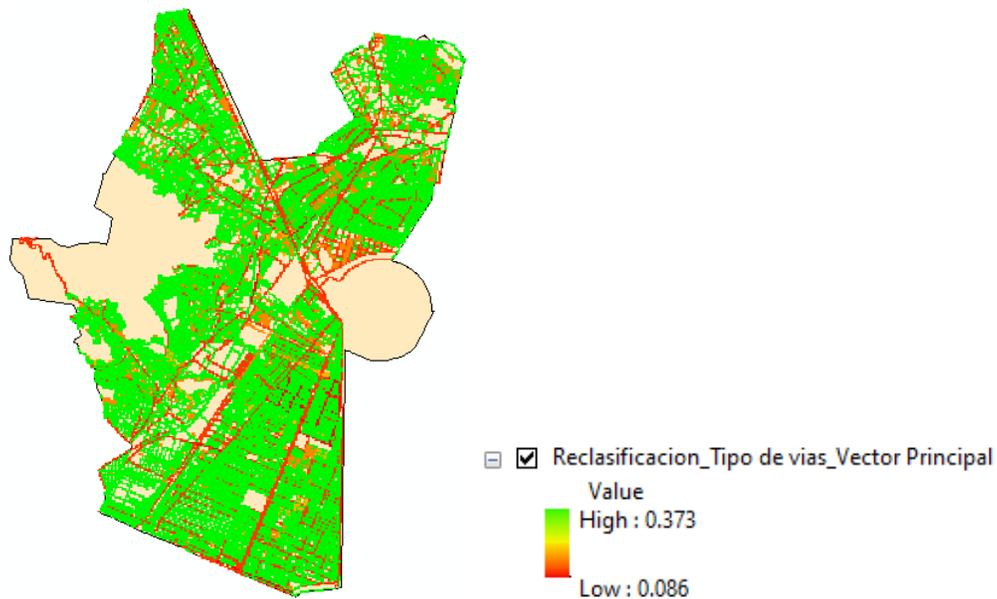


Imagen 50. Proceso, elaboración y obtención del Vector Principal con los valores de pesos de importancia del Eigenvector para los tipos de vías en el municipio de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

En esta capa es muy evidente que los pesos de importancia que determinamos para las calles de nuestra área de estudio predominan, tomando en cuenta que la mancha urbana ha ido desarrollándose de manera muy importante a lo largo del tiempo, esto quiere decir, que la problemática del mantenimiento de red de drenaje debería de abastecer a todas esas áreas, lo cual en muchas ocasiones como en nuestra zona de estudio no se da abasto suficiente para evitar inundaciones, especialmente en las temporadas de lluvias.

Como paso final para la generación de nuestro criterio de tipo de vías, requerimos que estos datos que acabamos de generar se encuentren dentro de un rango de valores específicos, que serán unificados posteriormente a los demás, con la intención de tener un resultado analizable en base a criterios existentes para el municipio de estudio. Estos valores de igual manera que en criterios anteriores y posteriores es de 1 a 255, los cuales podremos calcular con la herramienta de “Raster Calculator”, aplicando la siguiente fórmula:

“(((Tipos de vías_Vector Principal - valor mínimo del raster)*(Valor máximo del rango – Valor mínimo del rango)) / (Valor máximo del raster – Valor mínimo del raster)) + Valor mínimo del rango”

Como resultado en el proceso de este criterio se puede observar en la Imagen 51 la importancia que tienen las vías de comunicación, es decir, en color verde se nota la

importancia o peso que la alternativa de las calles y andadores peatonales tienen para ser tomados como un factor importante dentro de una inundación.

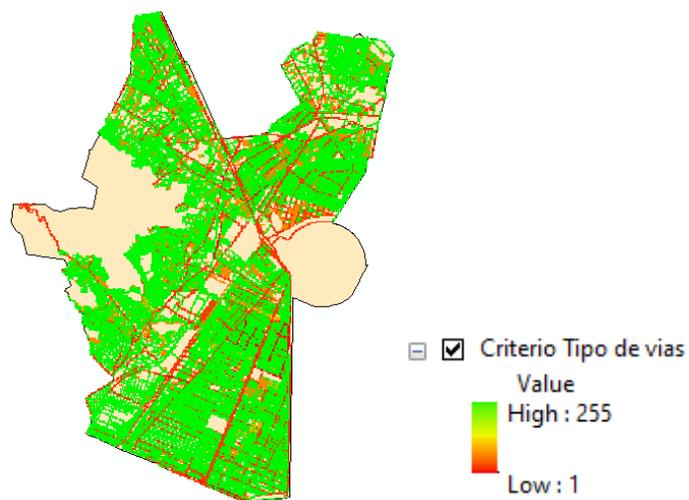


Imagen 51. Aplicación de la fórmula correspondiente para la obtención de la capa de tipos de vías con valores específicos para el municipio de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Como se sabe las manchas urbanas se siguen desarrollando año con año y la población sigue en aumento, es importante mencionar que dentro del municipio de Ecatepec, la población debe estar consiente que se ubican en áreas donde existen muchos factores que generan una inundación, tener una red de drenaje que no cumpla con las necesidades del flujo del agua, la generación de basura excesiva, entre otras cosas, tiene mucha relación con la contaminación que los habitantes provocan.

5. Preferencias por vías de comunicación con dos sentidos de circulación.

El control de la congestión vehicular forma parte de la elaboración de una visión estratégica de largo plazo del desarrollo de una ciudad, que permita compatibilizar la movilidad y el crecimiento de la población y su calidad de vida.

El uso del automóvil dentro de nuestra área de estudio es muy común, pero no es el único vehículo que transita con frecuencia a lo largo de las calles del municipio, ya que existe el transporte urbano el cual es un factor determinante dentro de la congestión de calles en las zonas urbanas. La demanda es variable y tiene objetivos muy marcados en los que se concentran muchos viajes, a causa del deseo de aprovechar las horas del día para realizar

las distintas actividades de la población, como pueden ser: trabajo, compras, estudio, recreación y descanso, las cuales requieren del traslado a lugares diferentes.

Continuando con la creación de los pasos para la elaboración de este criterio, se propuso la Tabla 19, donde se menciona la preferencia de movilidad con la que estas vías de 2 sentidos pudieran cooperar como alternativas dentro del municipio en épocas de lluvias o precipitaciones.

Sentido vehicular en las vías/ Alternativas	Preferencias
2 Sentidos vehicular	1. Gran alternativa de movilidad
1 Sentidos vehicular	2. Baja alternativa de movilidad

Tabla 19. Tabla de alternativas de los criterios con preferencia para la movilidad en las vías de comunicación. Fuente: Elaboración propia.

La exigencia de un número excesivo de vehículos contribuye a agravar la congestión, es por esa razón que dentro de este criterio se pretende considerar la importancia que tiene el sentido de las calles como alternativas para la movilidad que existe dentro del municipio de Ecatepec en el Estado de México, con este criterio podremos notar lo positivo o negativo de contar con calles de 1 o 2 sentidos para el tránsito y movilidad de los diferentes vehículos que transitan, en especial para el objetivo de esta investigación, la cual es las fuertes lluvias e inundaciones que suceden en la zona.

La práctica consiste en la elaboración de la matriz del eigenvector, dentro de la cual se asignan valores numéricos o pesos que contendrá cada alternativa de movilidad, que posteriormente contará con los nuevos valores o pesos de importancia que tendrá nuestra información con relación al propósito del proyecto, basándonos en la escala de Saaty, generamos los valores de nuestra matriz de preferencia ubicado en la Tabla 20 y posteriormente, generamos la matriz normalizada la cual se puede analizar la Tabla 21 , con este proceso se obtienen nuevos valores contenidos en los elementos de criterios para transformarlos en unidades comparables.

Matriz de preferencia		
Sentido vehicular en las vías/ Alternativas	1	2
2 Sentidos vehicular	1.00	2.00
1 Sentido vehicular	0.50	1.00
Vector de consistencia	1.50	3.00

Tabla 20. Matriz de preferencia para las alternativas de los sentidos vehiculares existentes en la zona de Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

Matriz Normalizada			
Sentido vehicular en las vías/ Alternativas	1	2	SUMA
2 Sentidos vehicular	0.67	0.67	1.33
1 Sentido vehicular	0.33	0.33	0.67

Tabla 21. Matriz normalizada para las alternativas de los sentidos vehiculares existentes en la zona de Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

Dentro del objetivo de la elaboración de estas matrices es poder obtener un valor llamado "Eigenvector", el cual será el conjunto de los nuevos valores o pesos de importancia específicos que se asignan a las alternativas de este criterio de interés dentro de esta investigación, el cual se muestra en la Tabla 22

Sentido vehicular en las vías/ Alternativas	Eigenvector
2 Sentidos vehicular	0.667
1 Sentidos vehicular	0.333
Suma de Eigenvector	1.000

Tabla 22. Valores del Eigenvector para las alternativas de los sentidos vehiculares existentes en la zona de Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

La tabla con valores de pesos son de importancia para elaborar nuestro análisis en capas raster del criterio de la importancia del sentido vehicular, como se trabajó en los criterios anteriores.

Dentro del software ArcMap, procesamos nuestros datos en información Georeferenciada, para poder determinar la importancia de los criterios en relación con el tema principal de esta investigación. Se genero la capa Raster, dentro de la barra de herramientas “Arctoolbox”, convertimos la capa de valores vectoriales a valores raster, Este proceso se ejecutó en la pestaña “Conversion tools”, donde encontraremos la opción “To Raster”, la cual ayudó a generar la capa en el formato que se requiere para su análisis posterior, como para este criterio trabajamos con datos de líneas, la opción correspondiente será “Polyline to Raster”.

Obtuvimos como resultado los datos de los sentidos de vías para nuestra área de estudio en tipo Raster, la cual podemos observar en la imagen 52. Generando una interpretación de los datos con los valores obtenidos del Eigenvector, mediante una reclasificación para la capa correspondiente, dentro de esta etapa es importante considerar que los valores deben ser números enteros para que el proceso de reclasificación pueda ser procesado para el análisis, podremos modificar los elementos en base a una representación de colores de mayor a menor peso.

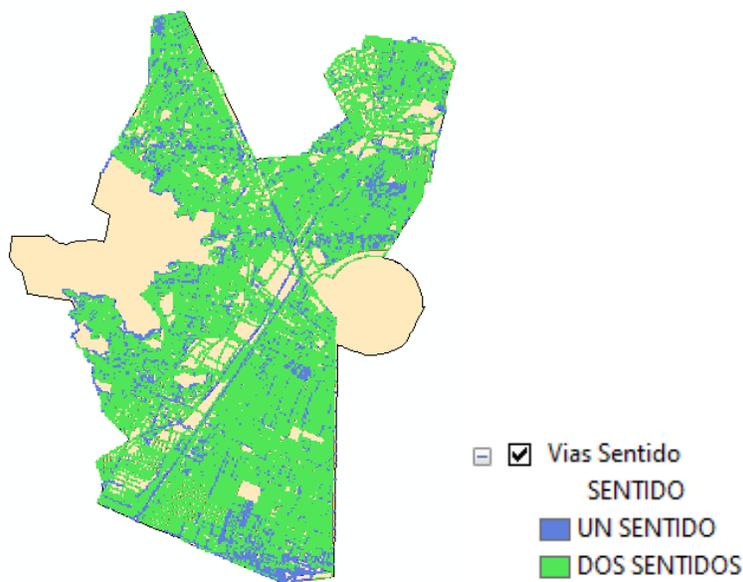


Imagen 52. Representación de los sentidos de las vías en el municipio de Ecatepec en formato Raster. Fuente: Elaboración propia.

La reclasificación de estos valores del eigenvector, se elaboró con la herramienta ubicada dentro de nuestra barra de herramientas “Arctoolbox”, en la pestaña “Spatial Analyst Tools”, donde se elige la pestaña “Reclass”, ejecutando la herramienta “Reclassify”, donde

colocamos los valores enteros o pesos que generamos por parte del Eigenvector y así se obtuvo la capa reclasificada con los valores en números enteros del Eigenvector, como se puede ver en la imagen 53.

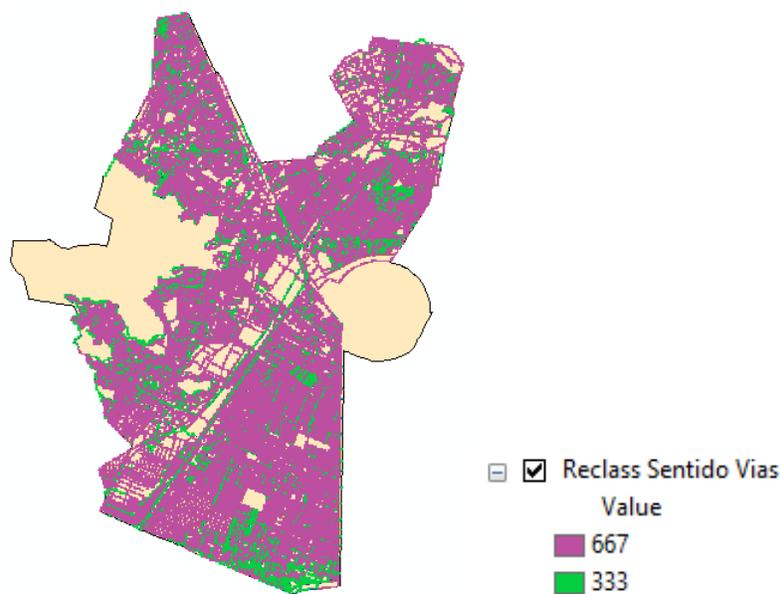


Imagen 53. Proceso de recalcificado y obtención de la capa con valores enteros del Eigenvector. Fuente: Elaboración propia.

Con nuestras clases definidas en valores enteros del Eigenvector, se realizó una conversión de los valores, en nuevos valores decimales que fueron los que se obtuvieron dentro de las matrices elaboradas previamente.

La obtención de estos valores en decimales ayudó a la unificación para la comparación posterior, fue necesario utilizar la herramienta del software dentro de ArcMap y con ayuda de operaciones matemáticas las capas raster generaron una nueva capa de criterio correspondiente. La elaboración matemática es una herramienta que encontramos dentro de la barra de herramienta principal "ArctoolBox", "Spatial Analyst Tools", ubicado en la pestaña de "Map Algebra", para poder ejecutar la herramienta "Raster Calculator", esta herramienta permite generar la operación correspondiente para el raster, convirtiendo los valores enteros en decimales, aplicando la fórmula $\text{Float}(\text{Reclass_SentidoVias})/1000$, obteniendo como resultado la capa de valores decimales, la cual nombramos criterio de sentido vías vector principal, como se muestra en la imagen 54.

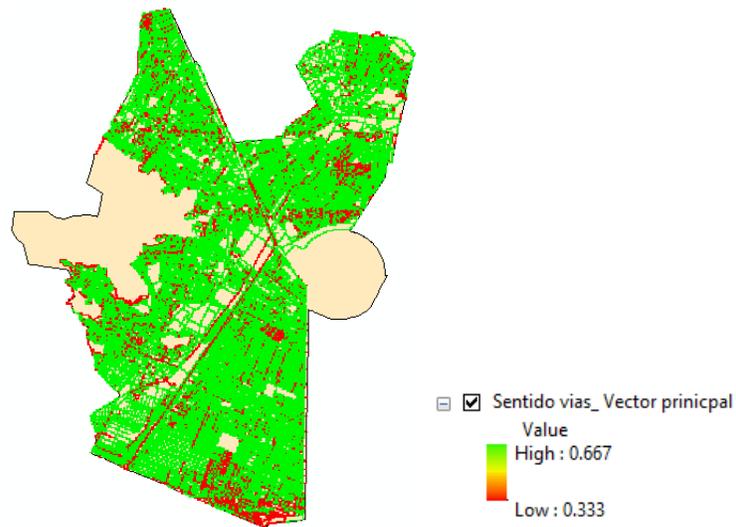


Imagen 54. Cálculo de operaciones Raster, para la obtención de la capa en valores decimales correspondientes al Eigenvector e interpretación de los valores reclasificados. Fuente: Elaboración propia.

Para este criterio se observa que los denominados “pesos de importancia”, para el caso de los sentidos de las vías, son las vías de comunicación con dos sentidos para circular existen en todo el municipio, siendo vías alternas para las personas que transitan por la zona, donde analizamos que la gran mancha urbana contiene muchas vías alternas para tránsito en caso de que las vías principales sufran inundaciones.

Para poder tener el criterio de manera uniforme a los demás se elaboró la capa que es el criterio a unificar junto a los demás. El rango de valores que manejamos para nuestros criterios va de 1 a 255 y con ayuda de la herramienta “Raster Calculator”, aplicando una fórmula que trabaja el método de Jerarquías Analíticas, para este criterio utilizaremos la siguiente fórmula:

“(((Capa de Sentido Vías Vector Principal - valor mínimo del raster)*(Valor máximo del rango – Valor mínimo del rango)) / (Valor máximo del raster – Valor mínimo del raster)) + Valor mínimo del rango”

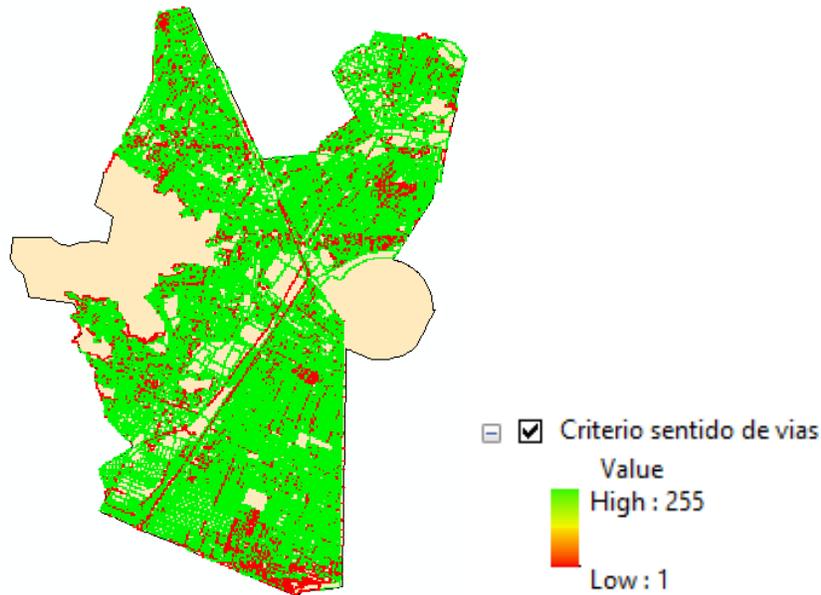


Imagen 55. Capa del criterio de sentido de las vías para unificar, aplicando la fórmula del método de Jerarquías Analíticas. Fuente: Elaboración Propia.

En la imagen 55, se puede visualizar el resultado generado para el análisis y observar que dentro de este criterio en el municipio existen muchas vías alternas con dos sentidos, es por eso que para poder reconocer la importancia de este criterio, la representación de la gráfica es su mayoría se muestra en color verde, es decir, este criterio genera alternativas viables para transitar como diferentes opciones cuando las avenidas o calles principales sufren el tema de las inundaciones. Con esto generamos la capa correspondiente a un criterio más que formará parte de la unificación final correspondiente para poder realizar nuestro análisis definitivo.

6. “Preferencia por vías con menor número de carriles”.

Para este criterio se consideró la importancia que tienen las vías de menor anchura o con menor número de carriles para el tránsito vehicular, esto es un determinante importante, porque estas calles son las que más afectaciones o inundaciones se pueden presentar, debido a las fuertes precipitaciones que caen en la zona de Ecatepec. Dentro de la investigación se pudo determinar la preferencia de estas calles, pues las noticias y hechos pasados, mencionan que son las áreas más inundables considerando que existen otros parámetros que generan inundaciones y son causantes de que la comunidad tenga que sufrir cada temporada de lluvias.

Este criterio va muy relacionado con el pasado, ya que ambos tienen una relación en cuanto a las vías que existen dentro del municipio de estudio, razón por la cual son de gran importancia para el desarrollo de esta investigación, lo primero que se debe de conocer en la distribución de los diferentes carriles que presentan las vías de comunicación, para este criterio se consideraron vialidades que cuentan con 1 carril, hasta 6 carriles, siendo estas las avenidas o carreteras que cruzan por el área de interés, se tiene que mencionar que muchas de estas calles, andadores o avenidas cuentan con dimensiones variables, lo que hace que el criterio cuente con las alternativas mencionadas como se muestran en la tabla 23.

Número de carriles en vías / Alternativas	Preferencias
1 Carril	1. Muy Alta posibilidad de inundación
2 Carriles	2. Alta posibilidad de inundación
3 Carriles	3. Media posibilidad de inundación
4 Carriles	4. Poca posibilidad de inundación
5 Carriles	5. Muy poca posibilidad de inundación
6 Carriles	6. Escasa posibilidad de inundación

Tabla 23. Alternativas definidas para el criterio del número de carriles con las que cuentan las vialidades en Ecatepec.
Fuente: Elaboración propia.

Se definió que las vías más vulnerables son las que presentan el menor número de carriles por diferentes factores que al combinarse provocan las grandes inundaciones dentro del municipio, en base a esto se elabora la matriz de preferencias en la cual empezaremos a calcular los valores para el criterio correspondiente. En base a la escala de Saaty, generamos los valores de nuestra matriz de preferencia teniendo el resultado visible en la Tabla 24 y siguiendo con los pasos del método que estamos ejecutando, se puede obtener la matriz normalizada, en la cual con operaciones matemáticas correspondientes obtendremos valores que serán asignados a las alternativas que fueron establecidas como se muestra en la tabla 25 con la finalidad de tener elementos numéricos y poder transformarlos en unidades comparables.

Matriz de Preferencia							
Número de carriles en vías / Alternativas	1	2	3	4	5	6	
1 Carril	1.00	9.00	7.00	5.00	3.00	1.00	
2 Carriles	0.11	1.00	5.00	5.00	3.00	1.00	
3 Carriles	0.14	0.20	1.00	5.00	3.00	3.00	
4 Carriles	0.20	0.20	0.20	1.00	3.00	3.00	
5 Carriles	0.33	0.33	0.33	0.33	1.00	3.00	
6 Carriles	1.00	1.00	0.33	0.33	0.33	1.00	
Vector de consistencia	2.79	11.73	13.87	16.67	13.33	12.00	

Tabla 24. Matriz de preferencia elaborada en relación a la escala de Saaty para las alternativas de los carriles en las vías de comunicación en el área de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Matriz Normalizada							
Número de carriles en vías / Alternativas	1	2	3	4	5	6	SUMA
1 Carril	0.36	0.77	0.50	0.30	0.23	0.08	2.24
2 Carriles	0.04	0.09	0.36	0.30	0.23	0.08	1.09
3 Carriles	0.05	0.02	0.07	0.30	0.23	0.25	0.92
4 Carriles	0.07	0.02	0.01	0.06	0.23	0.25	0.64
5 Carriles	0.12	0.03	0.02	0.02	0.08	0.25	0.52
6 Carriles	0.36	0.09	0.02	0.02	0.03	0.08	0.60

Tabla 25. Matriz normalizada correspondiente a las alternativas del número de carriles que presentan las diferentes vías de comunicación en Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Con el resultado de la suma obtenida mediante la matriz normalizada fue posible generar un resultado el cual es conocido como Eigenvector, en el cual los valores específicos o pesos que tienen las alternativas para el desarrollo del método mediante un análisis Geoespacial, como se muestra en la tabla 26, los valores obtenidos en números decimales tienen la relación de ser un peso específico de importancia o relevancia que tienen cada alternativa para el caso de una inundación en el municipio de Ecatepec de Morelos, en el Estado de México.

Número de carriles en vías / Alternativas	Eigenvector
1 Carril	0.373
2 Carriles	0.182
3 Carriles	0.153
4 Carriles	0.106
5 Carriles	0.086
6 Carriles	0.099
Suma de Eigenvector	1.000

Tabla 26. Valores del Eigenvector para las alternativas del número de vías que presentan las diferentes vías de comunicación terrestre dentro del municipio de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados se puede visualizar la importancia que tienen a nuestro criterio las vías de 1 carril, basado en información obtenida por medio de diferentes medios de noticias y antecedentes de las inundaciones presentadas en Ecatepec.

Al obtener estos valores, el proceso continúa como en los criterios anteriores, con la elaboración del criterio para finalmente ser unificado con todos los criterios correspondientes y poder generar nuestro análisis final. Lo que se tiene que generar es una capa en formato Raster, ya que la información que se obtiene del portal de datos abiertos genera los datos en formato original .Shp, dentro del software que se ha trabajado para esta investigación, transformaremos nuestra capa en formato Raster, donde se generó el formato adecuado, con la herramienta "To Raster", en este caso el formato en el que se encuentran nuestras alternativas son en polyline, por lo cual se selecciona la opción "Polyline to Raster", seleccionando la opción de elemento que deseamos convertir a Raster con la información que nos corresponde en este caso sería la opción "número de carriles", como se muestra en la imagen 56.

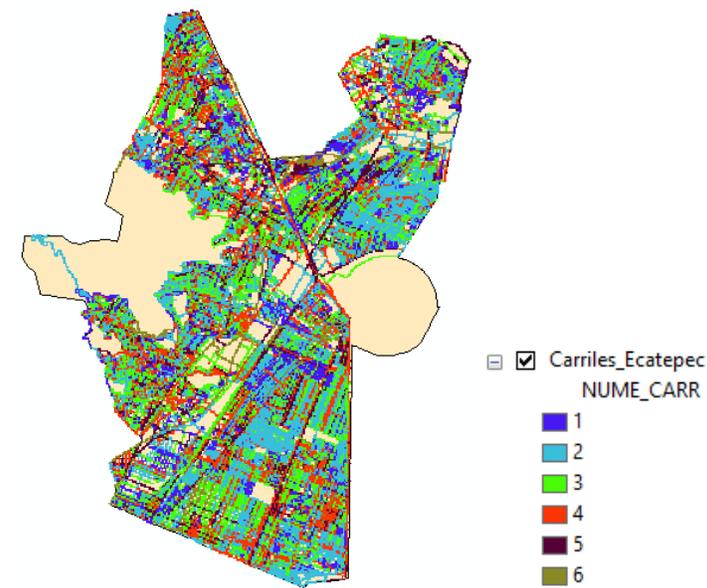


Imagen 56. Proceso de creación de capa y representación en formato Raster de los diferentes carriles que presentan las distintas vías de comunicación terrestre en Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Al procesar la capa de Raster es notorio la cantidad de avenidas, calles, andadores y vialidades que presenta el municipio y la manera en que están distribuidas las alternativas de los carriles, es notorio que las calles con mayor número de carriles se ubican entre 1 y 4, ya que si recordamos en el criterio pasado, existen muchas vías de comunicación terrestre con 2 sentidos de circulación vehicular que hacen referencia a este tipo de relación en base al número de carriles y ancho de las mismas.

El análisis multicriterio, para este criterio es importante elaborar o asignar los valores que se obtuvieron del eigenvector, el cual le dio los pesos específicos a las diferentes alternativas presentadas en relación a la vulnerabilidad para inundaciones dentro del municipio. La elaboración de la reclasificación de la capa Raster contiene los valores que ayudaron con la elaboración de este paso, "Reclassify" es una herramienta utilizada para asignar diferentes valores numéricos enteros a las alternativas que tenemos previamente asignadas en el eigenvector, este proceso y resultado se muestran en la imagen 57.

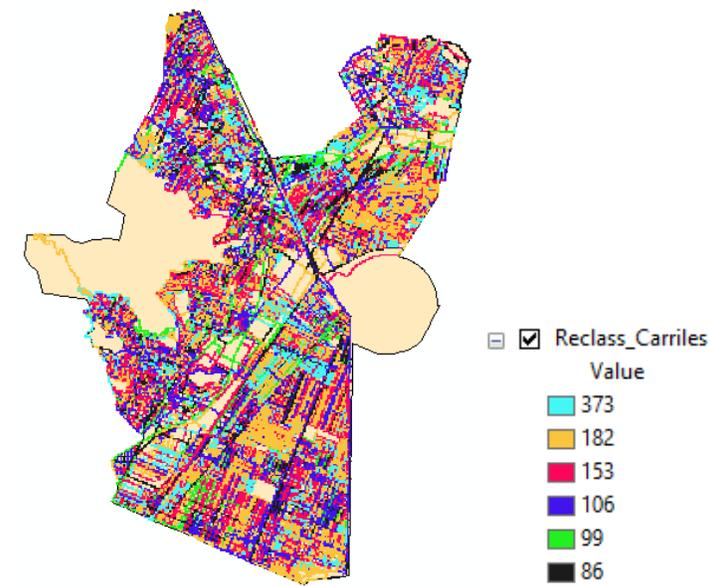


Imagen 57. Proceso e interpretación de la reclasificación de valores o pesos de importancia para las alternativas de los carriles que presentan las vías de comunicación terrestre en relación a las inundaciones en Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de la reclasificación asignados u obtenidos previamente en el eigenvector, se encuentra algo particular para este criterio, la diferencia de valores que existe entre el número de carriles 5 y 6, ya que si bien se puede considerar que al tener mayor número de carriles nuestro criterio corresponde a menos vulnerabilidad de inundaciones, con esta alternativa se hace una variación, ya que al ser principalmente avenidas o carreteras las que cuentan con 6 carriles y que el flujo es muy constante, los cuales referencia a un factor sociales que hace la vulnerabilidad a inundaciones en áreas urbanas.

Se realizó el proceso de conversión de valores enteros a decimales, mediante operaciones matemáticas que involucra nuestra capa Raster, con el objetivo de tener los valores específicos de nuestro eigenvector, que procesamos para la creación de la capa de criterio que servirá para la unificación final dentro del método de la evaluación multicriterio. Dentro del software donde se ejecutó con la herramienta "Map Álgebra" que contiene la herramienta de "Raster Calculator", en esta herramienta se ejecutan las operaciones matemáticas correspondientes para la capa Raster del criterio que se está ejecutando. Es importante mencionar que la fórmula para este criterio será "Float(Reclass_Carriles)/1000". Donde el resultado generado mostró una capa de valores decimales del eigenvector y con ayuda de las propiedades de edición de los paneles de colores tendremos la representación visual de nuestros valores acomodadas de mayor

vulnerabilidad a menor vulnerabilidad en cuanto a inundaciones, como se muestra en la imagen 58.

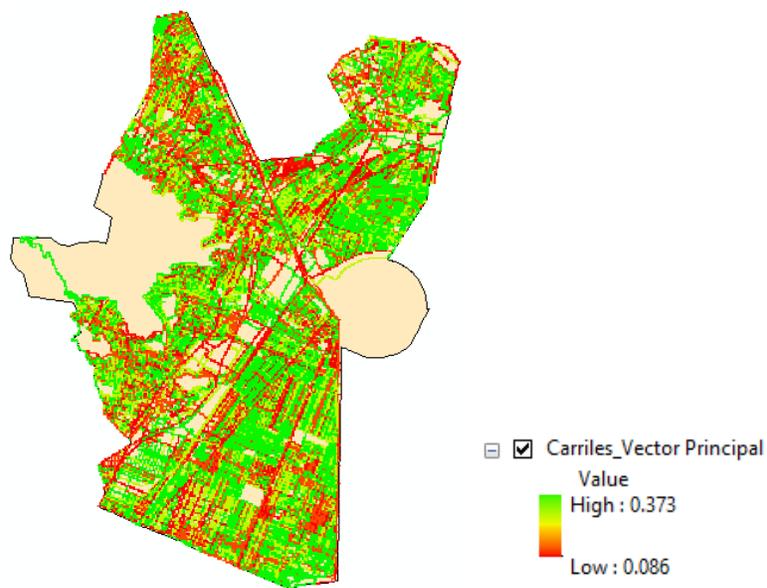


Imagen 58. Proceso, generación y visualización de la capa tipo Raster de los carriles de las vías de comunicación terrestre vector principal para Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Como resultado se puede visualizar las áreas vulnerables que corresponden a este criterio, en base a los pesos que fueron asignados por el eigenvector, el cual se denomina vector principal y es un elemento transformado dentro de un rango de valores para obtener el criterio en su etapa final. El proceso final para estas alternativas consiste en volver a la herramienta de “Map Algebra” en la pestaña nombrada “Raster Calculator”, donde se ejecutó la capa obtenida del vector principal de los carriles, con la finalidad de asignar estos valores en un rango de valores establecido de 1 a 255, como se realiza para todos los criterios y que finalmente podrán ser unificados, este proceso requiere de una fórmula establecida por el método de Jerarquías Analíticas la cual es:

“(((Carriles_Vector Principal – valor mínimo del raster)*(Valor máximo del rango - Valor mínimo del rango)) / (Valor máximo del raster – Valor mínimo del raster)) + Valor mínimo del rango”

El resultado que se obtuvo del proceso matemático que elabora el software con la herramienta “Raster Calculator”, nos generó la capa final que se muestra en la imagen 59, que cuenta con los valores establecidos para todos los criterios que se han elaborado a lo largo de esta investigación, clasificándolos en valores de mayor vulnerabilidad a menor

vulnerabilidad en una relación de colores para las inundaciones dentro del municipio de Ecatepec de Morelos, en el estado de México.

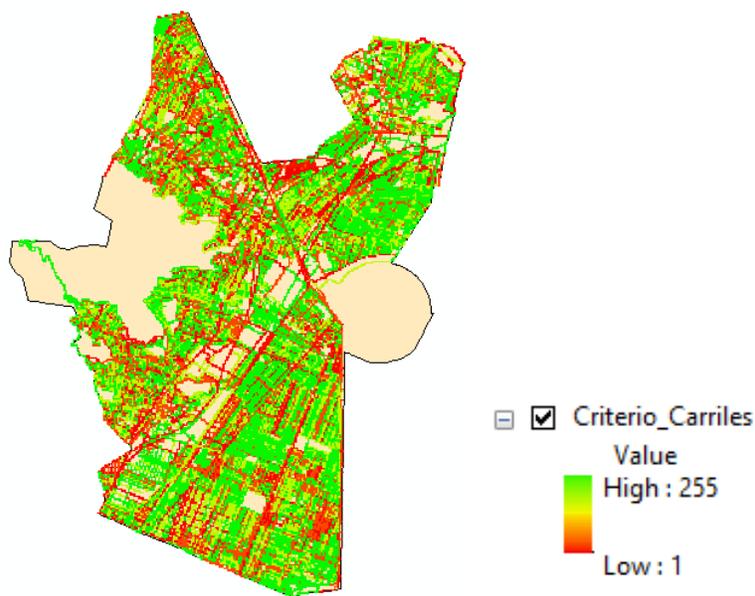


Imagen 59. Resultado final del criterio correspondiente a los carriles dentro de las vías de comunicación para el municipio de Ecatepec.

Como podemos observar la gran parte de la mancha urbana tiene muchas vulnerabilidades en cuanto a este criterio se refiere, debido a que gran parte de la población ha ido creando sus espacios de vivienda muy cercanos a diferentes calles, andadores que son de pequeña dimensión, esto sumado a otros factores sociales, provocan que exista una vulnerabilidad alta como se muestra en color verde en relación a los carriles que pudieran presentar las avenidas o calles, la elaboración de este criterio nos deja como análisis final una relación de alta vulnerabilidad para la época de lluvias que se presentan en Ecatepec.

7. “Preferencia por colonias con cercanías al punto de elevación más alto en un radio de 10 Km”.

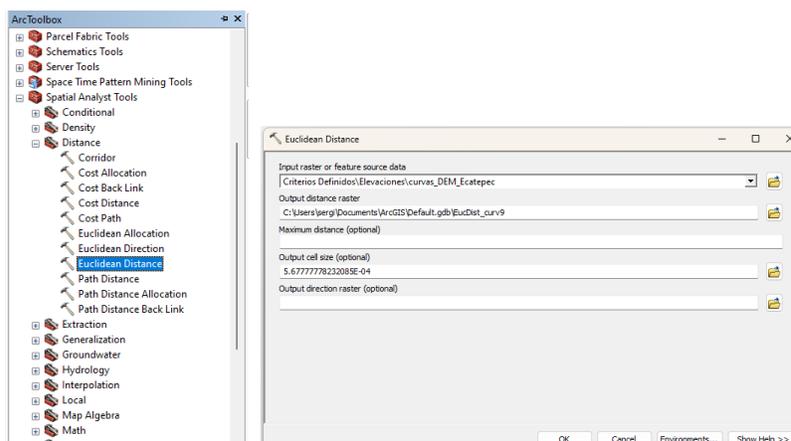
Para este criterio se utilizaron diferentes herramientas para la obtención de resultados para el análisis. En el municipio de Ecatepec existen muchas colonias que se encuentran a lo largo y ancho del territorio, un dato muy evidente, es el riesgo que genera la

elaboración, compra o renta de una vivienda en diferentes partes del municipio, es por eso que es notorio que las áreas que de igual manera sufren problemas o posibles riesgos, son nuevamente las colonias que se encuentran a los alrededores de las partes más elevadas, consideradas como zonas montañosas.

Antes de comenzar con los procesos para generar el raster del criterio de cercanía, con los pasos a seguir por parte del método de jerarquías analíticas, se genera una capa de área de influencia con relación al punto deseado y 10 km a la redonda. La herramienta recomendada para este procesamiento que es extremadamente útil, se le llama Distancia Euclidiana.

La Distancia Euclidiana, es la distancia que podemos generar alrededor de un conjunto de datos de interés, la cual nos ayudó a generar el área de influencia sobre la cual vamos a trabajar.

Dentro de ArcMap, utilizamos la herramienta de Distancia Euclidiana que encontramos dentro de la pestaña “Arctoolbox”, “Spatial Analyst Tools” herramientas de análisis espacial para poder ubicar “Distance” y “Euclidean Distance” para determinar las zonas que tienen a ser más vulnerables para que el agua descienda proveniente de las zonas más elevadas como se muestra en la imagen 60.



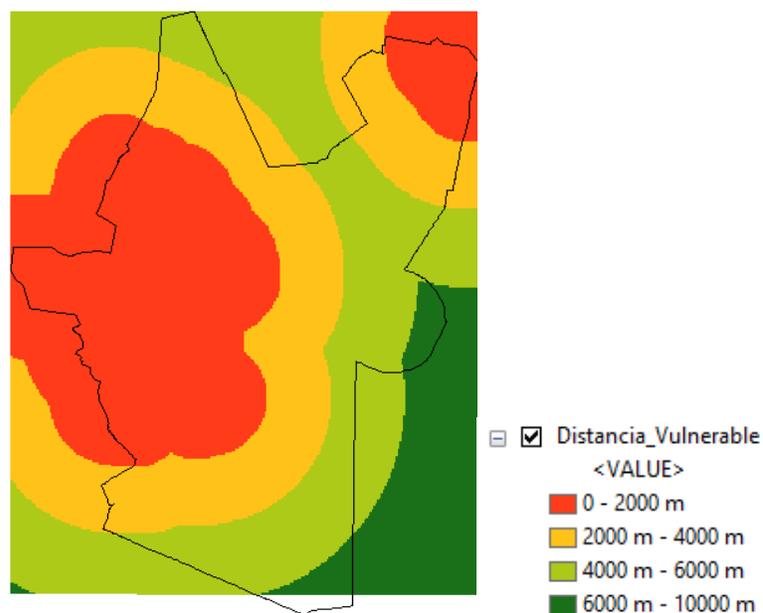


Imagen 60. Proceso de obtención de distancia de interés en relación a las elevaciones que presenta el terreno.
Fuente: Elaboración propia.

Para este criterio es necesario considerar alternativas definidas en cuanto a la relación que existe de distancia entre los puntos más elevados y la cercanía de mancha urbana que se ubica en la zona, como se puede mostrar en la tabla 27, considerando fundamental el efecto de que el agua de la lluvia genera al recorrer caminos hasta llegar a la superficie más plana, lo cual se maneja como distancia vulnerable por el hecho de este fenómeno natural.

Cercanía de mancha urbana vulnerable / Alternativas	Preferencia
0 m - 2000 m	1. Muy Cerca
2000 m - 4000 m	2. Cerca
4000 m - 6000 m	3. Regular
6000 m - 10000 m	4. Alejado

Tabla 27. Alternativas para la elaboración del criterio de distancia vulnerable tomando como referencia el punto más elevado del terreno. Fuente: Elaboración propia.

Se consideraron alternativas de distancias a cada 2km, como las áreas que pudieran estar vulnerables en las inundaciones con relación a las elevaciones que presenta el

municipio de Ecatepec. Continuando con los pasos que se han estado trabajando en los criterios pasados y posteriores, teniendo nuestra tabla de alternativas con preferencias definidas, es necesario elaborar los procesos de matrices correspondientes y obtener los valores numéricos o pesos de interés que tendrá cada alternativa para la cercanía de mancha urbana vulnerable.

La matriz de preferencia se elabora en base a la escala de Saaty, determinando la importancia que tienen en relación cada una de las alternativas, como se muestra en la Tabla 28, para que posteriormente se pueda obtener mediante operaciones matemáticas correspondientes la matriz normalizada, la cual se muestra en la Tabla 29 y poder generar valores que tendrán las alternativas en base a unidades comparables para determinar la importancia del criterio que se está trabajando.

Matriz de preferencia				
Cercanía de mancha urbana vulnerable / Alternativas	1	2	3	4
0 m - 2000 m	1.00	7.00	5.00	3.00
2000 m - 4000 m	0.14	1.00	7.00	3.00
4000 m - 6000 m	0.20	0.14	1.00	3.00
6000 m - 10000 m	0.33	0.33	0.33	1.00
Vector de consistencia	1.68	8.48	13.33	10.00

Tabla 28. Matriz de preferencia elaborada en base a la escala de Saaty para el criterio de cercanía de mancha urbana vulnerable a inundaciones. Fuente: Elaboración propia.

Matriz Normalizada					
Cercanía de mancha urbana vulnerable/ Alternativas	1	2	3	4	SUMA
0 m - 2000 m	0.60	0.83	0.38	0.30	2.10
2000 m - 4000 m	0.09	0.12	0.53	0.30	1.03
4000 m - 6000 m	0.12	0.02	0.08	0.30	0.51
6000 m - 10000 m	0.20	0.04	0.03	0.10	0.36

Tabla 29. Matriz Normalizada para las alternativas de cercanía de mancha urbana vulnerable a inundaciones. Fuente: Elaboración propia.

El proceso matemático involucra las matrices en la generación del Eigenvector, el cual contiene los valores definitivos o pesos de interés finales que se consideraron para la creación de la capa raster para el criterio de áreas vulnerables en base a la cercanía con zonas más elevadas, las cuales pudieran llegar a ser afectadas directamente en la época de lluvias. Los valores que se muestran en la Tabla 30.

Cercanía de mancha urbana vulnerable / Alternativas	Eigenvector
0 m - 2000 m	0.524
2000 m - 4000 m	0.257
4000 m - 6000 m	0.128
6000 m - 10000 m	0.091
Suma de Eigenvector	1.000

Tabla 30. Valores generados para el Eigenvector, datos que serán utilizados para los geoprocursos de la obtención del criterio de la cercanía de mancha urbana vulnerable a una inundación en el municipio de Ecatepec.

Para los siguientes procesos se elaboró la reclasificación de los valores, ya que la capa de distancia vulnerable se encuentra en formato Raster y con los valores que se han definido en un área definida a cada 2km, hasta los 10km a la redonda que se manejaron dentro del municipio. Utilizando la herramienta de reclasificación se obtuvieron los valores del Eigenvector de manera entera para cada alternativa de la cercanía de mancha urbana vulnerable y posteriormente poder generar nuestra capa de criterio correspondiente.

La elaboración de la reclasificación de este criterio la generamos con ayuda de la herramienta “Reclassify”, agregando los valores numéricos para cada campo que tiene nuestra capa de usos de suelos, como se muestra en la Imagen 61.

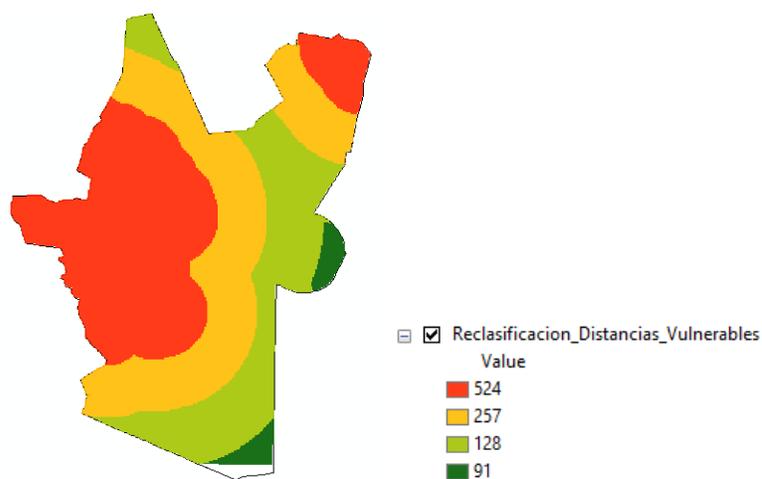


Imagen 61. Proceso y representación de la reclasificación de los valores enteros que se obtuvieron en el Eigenvector para el criterio de las áreas vulnerables a inundaciones. Fuente: Elaboración propia.

El resultado de la reclasificación de los valores enteros correspondientes al Eigenvector, es analizable, como podemos darnos cuenta, el valor que más peso o importancia tiene dentro de nuestra área de estudio son las zonas que se ubican más cercanas a las áreas montañosas que presentan una elevación más alta, ya que las montañas y cerros se vuelven una de las vías de traslado del agua, con rumbo a las áreas metropolitanas, considerando que la posibilidad de inundación y afectación con daños a la sociedad, son muy comunes.

Estos valores enteros nos dan una representación numérica para el criterio que se está trabajando en este apartado, pero estos valores deberán de ser transformados a formato decimal, como en casos anteriores. Para este proceso se necesitan elaborar procesos matemáticos dentro de la capa Raster de distancias vulnerables, con ayuda de la herramienta “Map Algebra”, “Raster Calculator”, con ayuda de la herramienta correspondiente las operaciones matemáticas se pueden efectuar sobre el Raster y así podemos convertir nuestros valores enteros en decimales, para el uso adecuado en base al método que se está trabajando en esta investigación, la fórmula adecuada usada para este caso es “ $\text{Float}(\text{Reclasificación_Distancias vulnerables})/1000$ “, de manera que tendremos nuestra capa en valores decimales correspondiente al Eigenvector, al cual se nombre “Vector Principal”, como se muestra en la imagen 62.

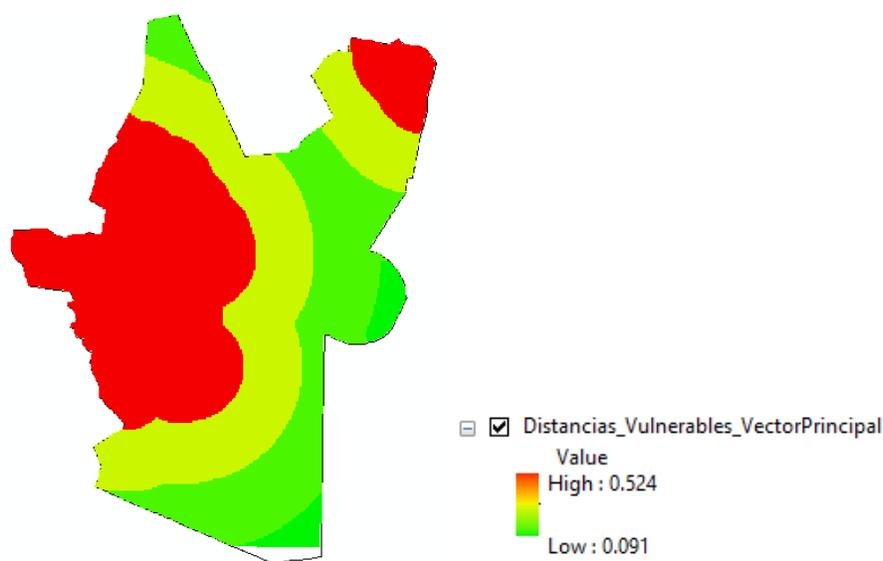


Imagen 62. Proceso, elaboración y obtención del Vector Principal con los valores de pesos de importancia del Eigenvector para las distancias vulnerables a inundaciones en el municipio de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

El resultado de esta capa es muy interesante, ya que sabemos que el área metropolitana del centro del país es un valle, en este municipio notamos que existen puntos elevados y zonas que están muy cercanas a estos puntos, los cuales son los pesos de importancia que determinamos de nuestra área de estudio, tomando en cuenta que la mancha urbana se sigue desarrollando de manera muy importante con el paso del tiempo, esto quiere decir, que la ubicación de diferentes colonias del municipio están en peligro cada que se presentan las fuertes precipitaciones, lo cual causa daños a la sociedad que se localiza en estas partes de Ecatepec.

Como paso final para la generación de nuestro criterio de distancias vulnerables, requerimos que los datos que acabamos de generar se encuentren dentro de un rango de valores específicos, que serán unificados posteriormente a los demás, con la intención de tener un resultado analizable en base a criterios existentes para el municipio de Ecatepec. Estos valores de igual manera que en criterios anteriores y posteriores va de 1 a 255, los cuales podremos calcular con la herramienta de “Raster Calculator”, aplicando la siguiente fórmula, como se muestra en la imagen 63.

“(((Distancia vulnerable_Vector Principal - valor mínimo del raster)*(Valor máximo del rango – Valor mínimo del rango)) / (Valor máximo del raster – Valor mínimo del raster)) + Valor mínimo del rango”

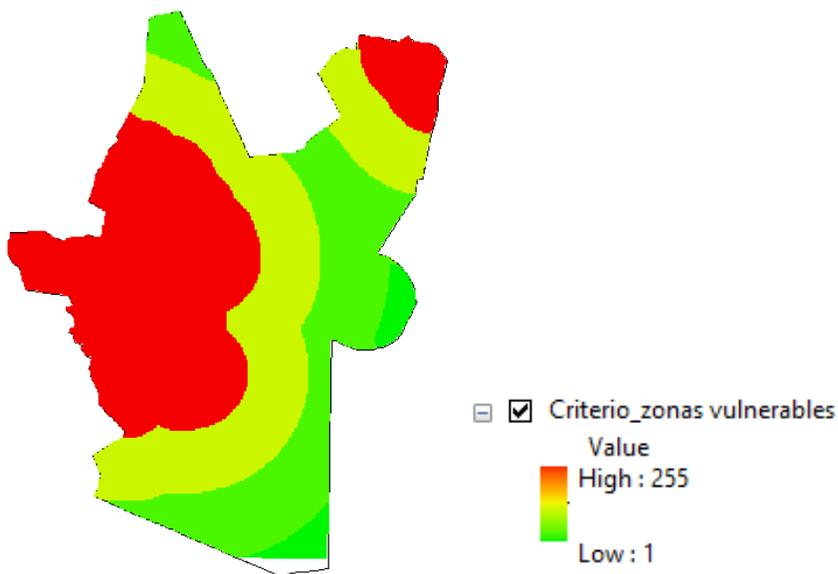
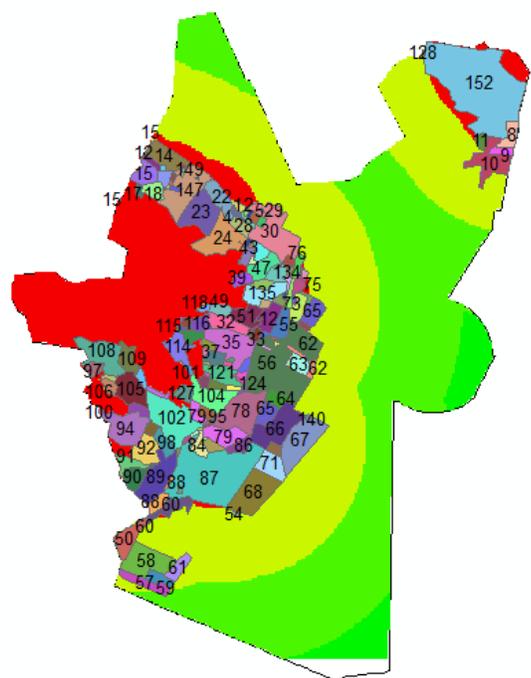


Imagen 63. Aplicación de la fórmula correspondiente para la obtención de la capa de la cercanía de mancha urbana vulnerable a puntos elevados, con valores específicos para el municipio de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Como resultado en la generación de este criterio se puede observar el peligro que genera para diferentes colonias la ubicación tan cercana con las áreas montañosas, es decir, en color rojo se marcó la importancia o mayor peso que se asignó a la distancias más cercana a los puntos más elevados que presenta el terreno, para ser tomado como factor importante dentro de una inundación, como se sabe las manchas urbanas se siguen desarrollando año con año y la población sigue en aumento, causando dificultades a la sociedad que habita dentro de esta zona. Siendo un criterio importante que será unificado para poder determinar las áreas más precisas que pudieran ser vulnerables a inundaciones.

Con la elaboración de este geoproceto es posible realizar un análisis más específico en conjunto con las distancias y así determinar las colonias con posibilidades más altas de ser afectadas en caso de precipitaciones fuertes, provocando inundaciones. Dentro del municipio existen 510 colonias que se ubican distribuidas por todo el municipio de Ecatepec, para poder determinar las más vulnerables, se trabajó con el apoyo del resultado de nuestra capa de distancias vulnerables, donde se realizó una selección de las colonias que se encuentran dentro del área marcada en rojo y generando una nueva capa de colonias se identificaron las que tienen mayor probabilidad de sufrir inundaciones debido a su cercanía con las áreas montañosas, de las cuales se obtuvieron 152 colonias que tienen altas posibilidades de ser afectadas en caso de inundaciones, distribuidas como se muestra en la imagen 64.



Identificador	Colonia	Identificador	Colonia
1	12 DE DICIEMBRE	26	COANALCO
2	16 DE SEPTIEMBRE	27	COLINAS ECATEPEC
3	ALDEAS DE TULPETLAC	28	CONJUNTO GUANAJUATO
4	ALMARCIGO NORTE	29	CUANALCO BUENAVISTA
5	ALMARCIGO SUR	30	CUAUHTEMOC
6	AMPL MARGARITO F AYALA	31	CUAUHTEMOC XALOSTOC
7	AMPLIACION IZCALLI	32	ECATEPEC 2000
8	ARBOLEDAS	33	EJIDAL EMILIANO ZAPATA
9	ARBOLEDAS STA CLARA	34	EL ARBOL - GUADALUPE VICTORIA
10	ARBOLITOS XALOSTOC	35	EL BOSQUE
11	AREA NUEVA	36	EL CALLEJON
12	BENITO JUAREZ 1RA SECCION	37	EL CALVARIO
13	BENITO JUAREZ 2DA SECCION	38	EL CAPULIN
14	BENITO JUAREZ 3RA SECCION	39	EL CHARCO
15	BENITO JUAREZ NORTE XALOSTOC	40	EL GALLITO
16	BOSQUES DE SAN JAVIER	41	EL JAGUEY
17	BOULEVARES ECATEPEC	42	EL MIRADOR
18	BOULEVARES IMPALA	43	EL OSTOR
19	BOULEVARES SAN CRISTOBAL	44	EL PARQUE
20	BUENAVISTA	45	EL POZO
21	BUENAVISTA TEPEXICASCO	46	EL RANCHITO
22	BUENOS AIRES	47	EL RANCHITO TULPETLAC
23	CALERIA	48	EL REHILETE
24	CHULAVISTA	49	EL SALADO XALOSTOC
25	CIUDAD CUAUHTEMOC	50	EL TEJOCOTE
Identificador	Colonia	Identificador	Colonia
51	FAMILIAR MAGISTERIAL ECATEPEC	76	LA LAGUNA 21
52	FRANCISCO VILLA	77	LA LOMITA
53	FUENTES DE SAN CRISTOBAL	78	LA MORA
54	GALAXIA ECATEPEC CENTRO - CASAS MARLA	79	LA NACIONAL - EX - HACIENDA DE JAUREGUI
55	GRANJAS EL ROSAL	80	LA PALMA
56	GUADALUPE VICTORIA	81	LA PALMA 1
57	HANK GONZALEZ	82	LA PALMA 2
58	HEROES DE LA INDEPENDENCIA	83	LA PRESA
59	HOGARES MARLA	84	LA PURISIMA TULPETLAC
60	INDUSTRIAL CERRO GORDO	85	LA VIRGEN
61	INDUSTRIAL XALOSTOC	86	LAS FUENTES ECATEPEC
62	INDUSTRIAS TULPETLAC	87	LAS PALMAS
63	IZCALLI ECATEPEC	88	LOMAS DE ATZOLCO
64	JARDINES DE CASA NUEVA	89	LOMAS DE ECATEPEC
65	JARDINES DE SANTA CLARA	90	LOMAS DE SAN CARLOS
66	JOSE MA MORELOS Y PAVON - FOVISSSTE	91	LOMAS DE TEPEOLULCO - PUERTO ESCONDIDO
67	JUSTICIA SOCIAL	92	LOMAS VERDES
68	LA AGUITA	93	LOS BORDOS
69	LA CRUZ	94	LOS LAURELES
70	LA CUESTA	95	MARGARITA MAZA DE JUAREZ
71	LA CUEVA	96	MESA DE LOS LEONES
72	LA CURIELA	97	MEXICO NUEVO
73	LA ESPERANZA	98	MIGUEL HIDALGO
74	LA JOYA	99	MISAEAL NUREZ A
75	LA JOYA DE ATLAUTENCO	100	NORTE SAN PEDRO XALOSTOC

Identificador	Colonia	Identificador	Colonia
101	NUEVA SAN JOSE JAJALPA	126	SANCHEZ Y CIA
102	NUEVO LAREDO	127	SANTA CLARA
103	OBRERA JAJALPA	128	SANTA CLARA CERRO GORDO
104	PANORAMICA	129	SANTA CLARA COATITLA
105	PARQUE RESIDENCIAL COACALCO	130	SANTA CLARA EL GALLITO
106	PIEDRA GRANDE	131	SANTA MARIA TULPETLAC
107	PLAN DE AYALA	132	TABLAS DEL POZO
108	PLAZAS DE ECATEPEC	133	TATA FELIX
109	POTRERO	134	TECUEXCOMAC
110	PRADOS DE SANTA CLARA	135	TEJA DE BORDOS
111	RANCHO DEL MONTECILLO	136	TEPEOLULCO
112	RDCIAL LA JOYA	137	TEPEXICASCO
113	RENOVACION JAJALPA	138	TEXALPA
114	RESIDENCIAL SAN CRISTOBAL	139	TIA JOAQUINA 1
115	RUFINO TAMAYO	140	TIA JOAQUINA 2
116	SAN ANDRES DE LA CAEADA	141	TIERRA BLANCA
117	SAN CARLOS	142	TIO MARIN
118	SAN CARLOS CANTEA	143	TLATEMPA
119	SAN CRISTOBAL CENTRO	144	TORRES DE ALTAVISTA
120	SAN ISIDRO ATLAUTENCO	145	TULPETLAC
121	SAN JACO	146	URBANA IXHUATEPEC
122	SAN JOSE XALOSTOC	147	VILLAS DE JAJALPA
123	SAN MIGUEL XALOSTOC	148	VILLAS DE LAS JOYAS
124	SAN PEDRO XAL	149	VISTA HERMOSA
125	SAN PEDRO XALOSTOC	150	VISTAS DE ECATEPEC
		151	VIVEROS DE TULPETLAC
		152	XOCHITENCO

Imagen 64. Representación gráfica de las áreas más vulnerables, en conjunto con la lista de los nombres de las colonias existentes dentro de la zona de peligro. Fuente: elaboración propia.

8. “Preferencias por áreas subhúmedas en el terreno del municipio”.

Para este estudio el criterio considerado se relaciona con el tipo de clima, ya que es muy evidente que la lluvia se genera mediante muchas cuestiones meteorológicas y que existen diferentes climas que se presentan en el país, durante distintos periodos del año, el clima tiene muchas variaciones, dentro del municipio de Ecatepec no es la excepción, como se ha mencionado en capítulos anteriores, los climas más recurrentes son templado y seco, es por eso que durante la temporada de lluvias el terreno presenta diferentes grados de humedad sobre el área del municipio, para este criterio encontramos que existen un par de grados de humedad que son los que comúnmente tienen mayor relación a las lluvias, que afectan de manera directa la zona de estudio y es nuestro principal fenómeno de estudio.

En la tabla 31 se visualiza que las alternativas elegidas son semiárido y subhúmedo, para nuestra área de estudio y con las preferencias que se van a manejar para la elaboración de este criterio, como en los anteriores, se seguirán con los pasos correspondientes del método seleccionado para lograr determinar el criterio en base a la importancia considerada.

Grado de humedad / Alternativas	Preferencias
Subhúmedo	1. Bueno
Semiárido	2. Malo

Tabla 31. Tabla correspondiente a las alternativas de grado de humedad en el terreno que existen para el municipio de Ecatepec, con preferencia para la importancia de las lluvias. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla de alternativas, se le dio la preferencia por el grado de subhúmedo, debido a que existe mucha relación con las lluvias que suceden dentro de la mancha urbana, hasta llegar a zonas semiáridas, ubicadas en gran parte de la mancha urbana. Con las alternativas establecidas y las preferencias que se presentan para este criterio se ejecutó el método elegido, el cual consiste en elaborar los cálculos necesarios con la finalidad de obtener la matriz de preferencia que se muestra en la tabla 32. Dentro de la cual se asignan valores numéricos o pesos que contiene cada alternativa, los nuevos valores o pesos tienen la información con relación al propósito del proyecto, basándonos en la escala de Saaty, continuando con las operaciones matemáticas correspondientes y procesos del método seleccionado, generando la matriz normalizada la cual se puede analizar la Tabla 33, con este proceso se obtienen nuevos valores contenidos en los elementos de criterios para transformarlos posteriormente en unidades comparables.

Matriz de preferencia		
Grado de humedad / Alternativas	1	2
Subhúmedo	1.00	2.00
Semiárido	0.50	1.00
Vector de consistencia	1.50	3.00

Tabla 32. Matriz de preferencia para las alternativas de grado de humedad en Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

Matriz Normalizada			
Grado de humedad / Alternativas	1	2	SUMA
Subhúmedo	0.67	0.67	1.33
Semiárido	0.33	0.33	0.67

Tabla 33. Matriz normalizada para las alternativas de grado de humedad en Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos en la matriz normalizada, se van a sumar por renglones y serán divididos entre el par de alternativas y así obtener el eigenvector que podemos visualizar en la tabla 34, valores reales con los cuales se van a trabajar los datos mediante procesos en ArcMap.

Grado de humedad / Alternativas	Eigenvector
Subhúmedo	0.667
Semiárido	0.333
Suma de Eigenvector	1.000

Tabla 34. Resultado con valores del eigenvector para las alternativas del grado de humedad en Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Para este criterio las alternativas fueron escasas, aunque de mucha importancia para el desarrollo de nuestro proyecto, ya que el conocimiento de los climas, puede ser un determinante para prevenir o saber qué hacer en caso de inundaciones. Conociendo los valores de preferencia obtenidos en el eigenvector, el procesamiento de datos para el método de jerarquías analíticas nos dice que se debe de comenzar por tener nuestra información raster para poder reclasificar los valores del eigenvector dentro de software que estamos trabajando, comenzaremos en la barra de herramientas “Arctoolbox”, buscando convertir nuestra capa de criterios de climas a un Raster con la información que contiene la capa principal. Este proceso consta en ubicar la pestaña “Conversion tools”, donde encontraremos la opción “To Raster”, la cual ayudó a generar la capa en el formato que se requiere para su análisis, como para este criterio se trabajó con datos de polígonos, la opción correspondiente será “Polygon to Raster”.

El resultado generó el área de estudio en tipo Raster, la cual se observa en la imagen 65, esta capa en una interpretación de los datos con los valores obtenidos del eigenvector, mediante una reclasificación para nuestra capa de climas en Ecatepec, dentro de esta etapa es importante considerar que los valores deben ser números enteros para que el proceso de reclasificación pueda ser procesado para el análisis, podremos modificar los elementos en base a una representación de colores de mayor a menor peso.

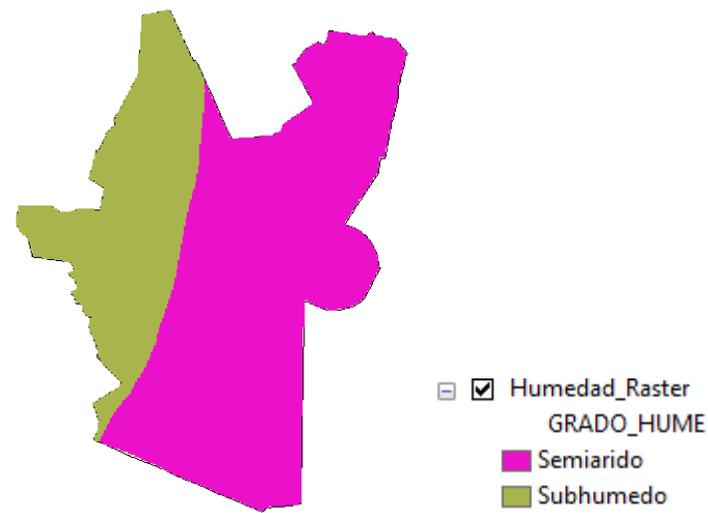


Imagen 65. Representación Raster del criterio a procesar para los grados de humedad en Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

En la capa para este resultado se puede analizar que nuestra zona está determinada por la representación en gran extensión del terreno por el grado semiárido y subhúmedo hacia lo más alejado de la parte urbana, lo cual nos lleva al análisis de la falta o escasa existencia de áreas verdes que pudieran generar suelos subhúmedos dentro de la mancha urbana. La reclasificación de estos valores a nuestros valores obtenidos en el eigenvector, se elabora con la herramienta “Reclassify”, donde colocaremos los valores o pesos que generamos por parte de nuestro eigenvector y así obtenemos nuestra capa reclasificada con los valores en números enteros del eigenvector, como se observa en la imagen 66.

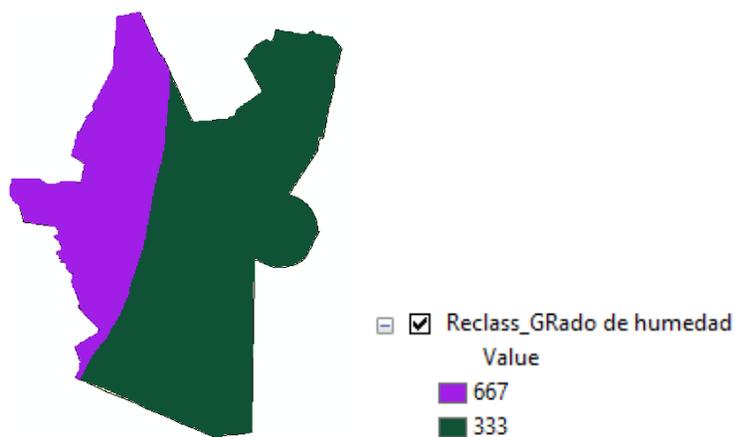


Imagen 66. Proceso de recalificado y obtención de la capa con valores enteros del eigenvector. Fuente: Elaboración propia.

El proceso de reclasificación asigna los valores del eigenvector de nuestra capa de interés, procedemos a realizar la conversión de nuestros valores enteros en valores decimales reales que generamos previamente para los pesos de preferencia en cada alternativa. La obtención de estos valores en decimales ayudó a la unificación para la comparación, es necesario utilizar una herramienta del software dentro de ArcMap para la elaboración matemática, esta herramienta se encuentra ubicado en la pestaña de “Map Algebra”, para poder seleccionar “Raster Calculator”, aplicando la fórmula “Float(Reclass_Grado de humedad)/1000”, obteniendo como resultado la capa de valores decimales, la cual nombramos criterio de humedad vector principal, como se muestra en la imagen 67.



Imagen 67. Desarrollo del cálculo de operaciones Raster y representación de la capa en valores decimales correspondientes al eigenvector e interpretación de los valores reclasificados. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede analizar dentro de la representación de esta capa, los valores de mayor interés se muestran en color verde, siendo el área subhúmeda, debido a la importancia que se tiene en este factor para las inundaciones. Para poder tener el criterio de manera uniforme a los demás se continúa elaborando la nueva capa que será el criterio a unificar posteriormente junto a los demás. El rango de valores que manejamos para nuestros criterios va de 1 a 255 y con ayuda de la herramienta “Raster Calculator”, aplicando una fórmula que trabaja el método de Jerarquías Analíticas, para este criterio utilizaremos la siguiente fórmula:

“(((Grado de humedad_Vector Principal - valor mínimo del raster)*(Valor máximo del rango – Valor mínimo del rango)) / (Valor máximo del raster – Valor mínimo del raster)) + Valor mínimo del rango”

El resultado obtenido por el proceso que realiza el software, generamos la capa final para este criterio, denominada “Criterio para el grado de humedad”, este proceso nos generó los valores dentro del rango específico para continuar posteriormente con un análisis en conjunto a los demás criterios como se aprecia en la imagen 68.



Imagen 68. Generación de la capa de criterio de grado de humedad en el área del municipio con rango de valores específicos de 1 a 255 para la unificación de criterios finales. Fuente: Elaboración propia

El resultado en este criterio es muy notoria, la representación en color verde para la interpretación que se le da al tipo de área subhúmeda que se caracteriza por desarrollar una amplia variedad de especies vegetales y animales, generando lluvias en diferentes etapas del año, es la razón de que los valores altos o de interés se ubiquen dentro de la zona de este clima, ya que en base a la investigación es adecuada para que se genere el ciclo del agua y se proceda a la precipitación, definiendo que es un área vulnerable a tener el tipo de fenómeno que se está estudiando. Este criterio final fue parte de la unificación para obtención de un resultado en combinación con los demás criterios generados.

9. “Preferencia por las corrientes intermitentes dentro de la hidrología lóptica”.

En este criterio fue necesario considerar las diferentes corrientes de agua naturales o lópticas que puedan existir en el área de estudio. Las aguas lópticas son aguas superficiales que se encuentran continuamente en movimiento, sin importar la velocidad y se mueven en una sola dirección, principalmente formadas cuando el agua de lluvia recorre hacia la

parte más baja de las montañas, en este caso conociendo las diferentes elevaciones y zonas montañosas que se ubican a la redonda del área de estudio, es evidente darle importancia a las corrientes intermitentes provenientes de las montañas existentes y que a su vez se ubican muy cerca de la zona habitacional, causando daños severos cuando se presentan fuertes lluvias, creando posibles inundaciones para el municipio de Ecatepec de Morelos.

Dentro de la Tabla 35 se determinaron las alternativas existentes para el criterio de corrientes de agua, donde podemos observar que existen 3 alternativas específicas que serán estudiadas para la elaboración de la capa de criterio que será unificada posteriormente.

Corriente de agua / Alternativas	Preferencia
Corriente intermitente	1. Alta
Canales	2. Media
Acueductos	3. Baja

Imagen 35. Alternativas de aguas lóaticas. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de este criterio se ha decidido acomodar las corrientes de agua de acuerdo al mayor daño que pudieran crear en las áreas urbanas considerando que son zonas de mayor vulnerabilidad, creando la matriz de preferencia con las alternativas seleccionadas. La matriz de preferencias asigna valores numéricos o pesos que contendrá cada tipo de corriente de agua, con los nuevos valores o pesos que tendrá nuestra información con relación al propósito del proyecto, basándonos en la escala de Saaty, generamos los valores de nuestra matriz de preferencia ubicado en la Tabla 36, para aguas lóaticas que presenta nuestro terreno de estudio y posteriormente continuando con los procesos del método seleccionado, generamos la matriz normalizada visualizada en la Tabla 37, mediante este proceso se obtienen nuevos valores para los elementos de criterios para transformarlos en unidades comparables.

Matriz de preferencia			
Corriente de agua / Alternativas	1	2	3
Corriente intermitente	1.00	5.00	5.00
Canales	0.20	1.00	3.00
Acueductos	0.20	0.33	1.00
Vector de consistencia	1.40	6.33	9.00

Tabla 36. Matriz de preferencia elaborada en base al método de Saaty para las corrientes de agua existentes en Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Matriz normalizada				
Corriente de agua / Alternativas	1	2	3	Suma
Corriente intermitente	0.714	0.789	0.556	2.059
Canales	0.143	0.158	0.333	0.634
Acueductos	0.143	0.053	0.111	0.307

Tabla 37. Matriz normalizada con valores que serán utilizados para la generación de los pesos de importancia que tendrá cada alternativa de las corrientes de agua dentro del municipio de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

El proceso de todos estos cálculos, nos lleva a tener un resultado final con valores de importancia o pesos de interés para cada alternativa, la cual es llamada Eigenvector, en donde tendremos en valores decimales el porcentaje que se le asigna a cada alternativa mediante la importancia que tenga en relación a las inundaciones en la zona que es el objetivo dentro de esta investigación, estos valores se muestran en la tabla 38.

Corriente de agua / Alternativas	Eigenvector
Corriente intermitente	0.686
Canales	0.211
Acueductos	0.102
Suma de Eigenvector	1.000

Tabla 38. Alternativas con valores o pesos de interés determinado en la creación del Eigenvector para las corrientes de agua existentes en Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

El Eigenvector son los datos numéricos de un peso de importancia que van a tener las alternativas, es importante mencionar que dentro de este criterio el tipo de corriente de agua que se va a considerar serán las corrientes intermitentes, ya que son las principales vías de inundación cuando se presentan fuertes lluvias, para poder crear esta capa ejecutaremos los pasos similares a los que se han venido trabajando.

Una vez definidos las alternativas con sus respectivos pesos de interés, correspondientes al eigenvector, sabemos que el método aplicado dentro del software trabaja con datos

Raster, los cuales fueron procesados para el análisis, por lo cual se generó la nueva capa dentro de ArcMap, En nuestra barra de herramientas principal llamada “Arctoolbox”, dentro de la pestaña de “Conversion tools” encontraremos la opción “To Raster”, dentro de esta existen diferentes opciones para generar nuestra capa con datos Raster, el formato en el que se encuentran las corrientes de agua son líneas que representan las diferentes corrientes existentes, para poder generar los valores de estas líneas en datos Raster, elegimos la opción “Polyline to Raster”, seleccionando “Tipo de vías” que será la información que requerimos para el análisis, como se puede observar en la imagen 69.

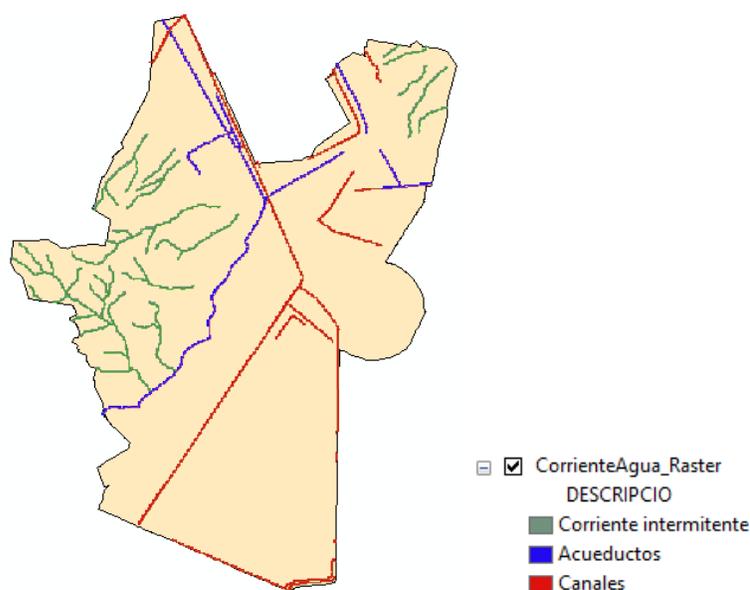


Imagen 69. Generación de capas alternativas para las corrientes de agua en tipo Raster. Fuente: Elaboración propia.

Después de generar la capa en formato Raster podemos comenzar a generar la interpretación de estos elementos, en valores numéricos, los cuales fueron obtenidos del eigenvector, utilizando la herramienta de reclasificación tendremos los valores del eigenvector de manera entera para cada alternativa en las corrientes de agua y posteriormente poder generar nuestra capa de criterio correspondiente.

La elaboración de la reclasificación de nuestra capa en formato Raster para las corrientes de agua, se generó mediante la opción de “Reclass” y seleccionamos la pestaña de “Reclassify”, agregando los valores numéricos para cada campo que tiene nuestra capa de usos de suelos, como se muestra en la Imagen 70.

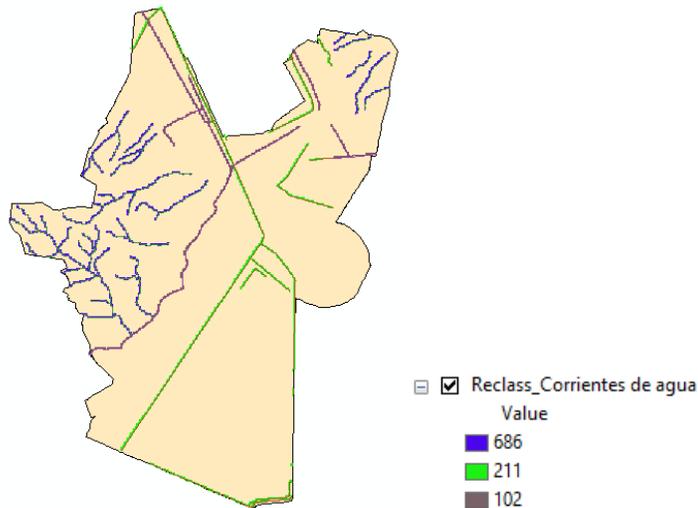


Imagen 70. Proceso y resultado de la reclasificación de los valores pertenecientes a las corrientes de agua presentes en Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

En este resultado de la reclasificación con asignación de los valores enteros correspondientes al eigenvector, podemos darnos cuenta del valor que más peso o importancia podría tener dentro de nuestra área de estudio son las corrientes que provienen de las montañas o zonas elevadas, ya que estas se vuelven las vías principales donde el agua se traslada hacia el área urbana elevando la posibilidad de inundación y afectación con daños a la sociedad.

Estos valores enteros generan una representación numérica para el criterio de los tipos de vías, estos valores deberán de ser transformados a formato decimal, para poder hacer representación porcentual de las alternativas, como en casos anteriores. Para este proceso se elaboraron procesos matemáticos dentro de la capa Raster de corrientes de agua, con ayuda de la herramienta “Map Algebra”, “Raster Calculator”, con ayuda de la herramienta correspondiente las operaciones matemáticas se pueden efectuar sobre nuestro Raster y así convertir los valores enteros en decimales, para el uso adecuado en base al método que se trabajó en esta investigación, la fórmula adecuada usada para este caso es “ $\text{Float}(\text{Reclass_Corrientes de agua})/1000$ “, de manera que tendremos nuestra capa en valores decimales correspondiente al eigenvector, al cual se nombre “Vector Principal”, como se muestra en la imagen 71.

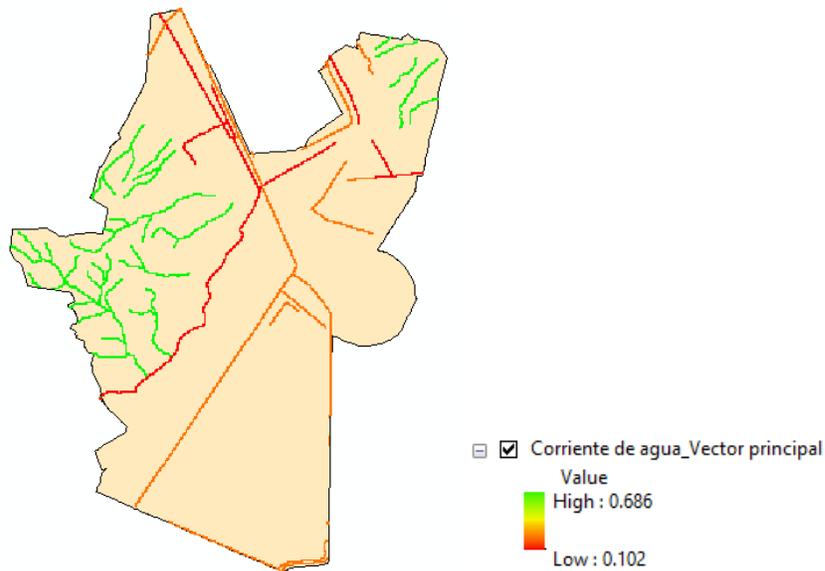


Imagen 71. Proceso, elaboración y obtención del Vector Principal con los valores de pesos de importancia del eigenvector para la corriente de agua en el municipio de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

En esta capa es muy notorio que los pesos de importancia mayores se determinaron para las corrientes de agua que provienen de las montañas en esta área de estudio, tomando en cuenta que la mancha urbana ha ido desarrollándose de manera muy importante a lo largo del tiempo, esto quiere decir, que se vuelve una problemática posible a inundaciones la manera en que se ha ido abarcando territorio urbano cerca de las áreas montañosas, lo cual en muchas ocasiones provoca que sea completamente peligroso y vulnerable habitar estas zonas, en específico hablando de los daños que se generan con la caída de fuertes lluvias.

Como paso final del método seleccionado, se establecieron los valores dentro de un rango numérico para la generación del criterio de corrientes de agua específico, que serán unificados posteriormente a los demás, con la intención de tener un resultado analizable en base a criterios existentes para el municipio de estudio. Estos valores de igual manera que en criterios anteriores y posteriores es de 1 a 255, los cuales podremos calcular con la herramienta de “Raster Calculator”

“(((Corrientes de agua_Vector Principal - valor mínimo del raster)*(Valor máximo del rango – Valor mínimo del rango)) / (Valor máximo del raster – Valor mínimo del raster)) + Valor mínimo del rango”

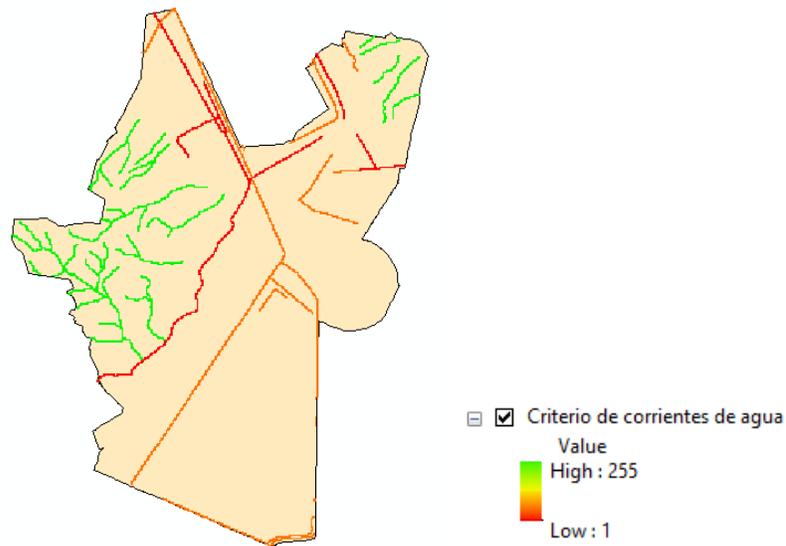


Imagen 72. Aplicación de la fórmula correspondiente dentro del método para la obtención de la capa de corrientes de agua con valores específicos dentro del rango para la unificación de criterios del municipio de Ecatepec.
Fuente: Elaboración propia.

Como resultado en el proceso de este criterio se puede observar en la imagen 72, la importancia de conocer la dirección de los tipos de corrientes de agua que existen y que las aguas lóaticas son un factor muy importante en el tema de inundaciones, es decir, en color verde se notan las corrientes que pueden afectar directamente a la población, ya que tienen el peso o valor mayor que se le asignó dentro de las demás corrientes lóaticas que fueron tomadas a considerar como un factor importante dentro de una inundación, como se sabe las manchas urbanas se siguen desarrollando año con año y la población sigue en aumento, es importante mencionar que dentro del municipio de Ecatepec, la población debe estar consciente que habitar en las cercanías de áreas montañosas y el flujo del agua las hace vulnerables ante una posible inundación en época de fuertes lluvias.

10. “Preferencia por áreas con registro de precipitación más elevada durante temporadas de lluvias”.

Conociendo la posible inexistencia de cuerpos de agua lénica dentro de una zona como Ecatepec, es posible combinar el análisis con los datos del promedio mayor de precipitación dentro de las temporadas de lluvias.

Las aguas lénticas son cuerpos de agua superficiales que se encuentran en un espacio cerrado y carecen de corriente continua, también denominados como ambientes estáticos. Su principal fuente de renovación es el agua de lluvia, razón por la cual dentro de este criterio se va analizar el promedio mayor de precipitación dentro de un registro en épocas de lluvias, si bien, dentro del municipio no existen lagunas, lagos, pantanos o estanques, se presentan lluvias que generan datos para medir la precipitación promedio que cae sobre el municipio de Ecatepec.

La cantidad de lluvia que cae en un lugar se mide en milímetros y se determina con los pluviómetros, es decir, los milímetros de agua equivalen a la cantidad que se acumularía en una superficie horizontal e impermeable, durante el tiempo que dure una precipitación.

Dentro de la Tabla 39, se pueden observar las alternativas que presentan los datos abiertos para esta pequeña parte del país en cuanto a un promedio de precipitación dentro del municipio, se sabe que el clima es muy variado, constantemente los tipos de climas Seco y Templado forman parte de los principales.

Precipitación / Alternativas	Preferencias
menor a 43.2mm	1. Peligro / Alto
mayor a 22.9mm	2. Precaución

Tabla 39. Alternativas presentadas para el criterio de precipitación existente en el municipio de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Con el método correspondiente se elaboró la matriz de preferencias, la cual asigna valores numéricos o pesos que contendrá cada valor de precipitación en las áreas del terreno de estudio en Ecatepec. Basándonos en la escala de Saaty, se generaron los valores de nuestra matriz de preferencia ubicado en la Tabla 40, la matriz normalizada la cual se puede analizar en la Tabla 41, en la cual obtendremos los nuevos valores contenidos para las alternativas de precipitación y poder transformarlos en unidades comparables, junto al resto de criterios elaborados.

Matriz de preferencia		
Precipitación / Alternativas	1	2
menor a 43.2mm	1.00	3.00
mayor a 22.9mm	0.33	1.00
Vector de consistencia	1.33	4.00

Tabla 40. Matriz de preferencia para el criterio de precipitación promedio en el municipio de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Matriz Normalizada			
Precipitación / Alternativas	1	2	SUMA
menor a 43.2mm	0.75	0.75	1.50
mayor a 22.9mm	0.25	0.25	0.50

Tabla 41. Matriz normalizada para el criterio de precipitación promedio en el municipio de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

El dato final a estas operación matriciales y aritméticas, son el objetivo de estos cálculos, corresponde para la asignación de valores de importancia específica dentro del municipio, llamado Eigenvector, el cual se muestra en la Tabla 42 y serán los valores determinantes para poder completar el criterio comparable mediante el geo procesamiento de valores Raster para la interpretación de las precipitaciones dentro de este municipio.

Precipitación / Alternativas	Eigenvector
menor a 43.2mm	0.750
mayor a 22.9mm	0.250
Suma de Eigenvector	1.000

Tabla 42. Valores asignados al eigenvector para el análisis del criterio de precipitación para Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en estos resultados, dentro del eigenvector se asignaron los valores de mayor peso considerando de alto peligro los valores que se encuentren dentro del promedio menor a 43.2mm.

Posteriormente realizaremos procesos en el software seleccionado, por lo cual se creó la nueva capa dentro de ArcMap, Con la herramienta “Conversion tools” donde encontraremos la pestaña “To Raster”, dentro de esta existen diferentes opciones para generar nuestras capas en datos Raster, para este criterio de precipitación conocemos que el formato en el que se encuentran nuestras curvas de nivel son polígonos de referencia, para poder generar los valores de estas áreas en datos Raster, elegimos la opción “Polygon to Raster”, dentro de esta opción se eligieron los valores correspondientes al promedio de precipitaciones , ya que contiene la información que presenta nuestra área de estudio.

Una vez concluido el proceso anterior, tendremos como resultado los datos de las medidas promedio de precipitación de nuestra área de estudio en tipo Raster, la cual podemos observar en la imagen 73. Posteriormente generamos una interpretación de los datos con los valores obtenidos del eigenvector, mediante una reclasificación para nuestra capa de manzanas habitacionales, dentro de esta etapa es importante considerar que los valores deben ser números enteros para que el proceso de reclasificación pueda ser procesado para el análisis, podremos modificar los elementos en base a una representación de colores de mayor a menor peso.

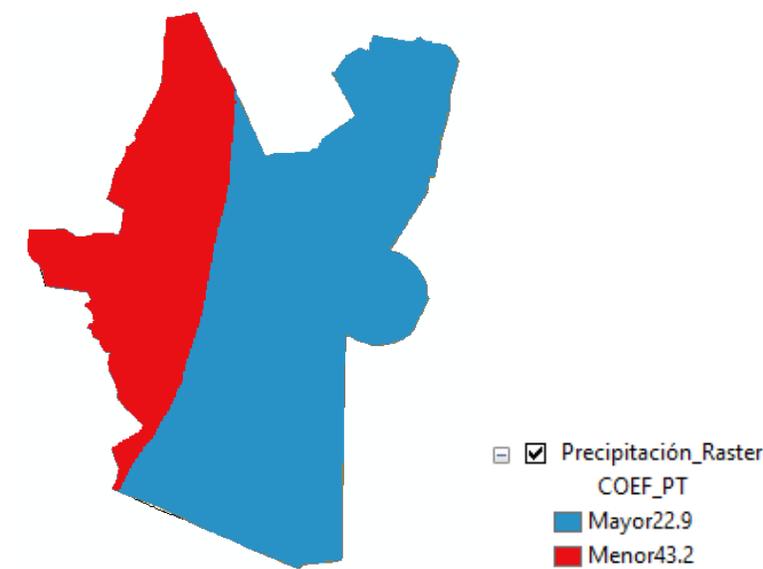


Imagen 73. Representación en formato Raster de la interpretación de los valores promedios de precipitación en la zona de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

La reclasificación de las capas, asigna los valores que requerimos para el análisis e interpretación final de nuestro criterio de interés, lo cual se elabora con la herramienta “Reclass”, continuando con la pestaña “Reclassify”, donde colocamos los valores o pesos por parte de nuestro eigenvector correspondiente y así obtuvimos nuestra capa reclasificada con los valores en números enteros del eigenvector, como se observa en la Imagen 74.

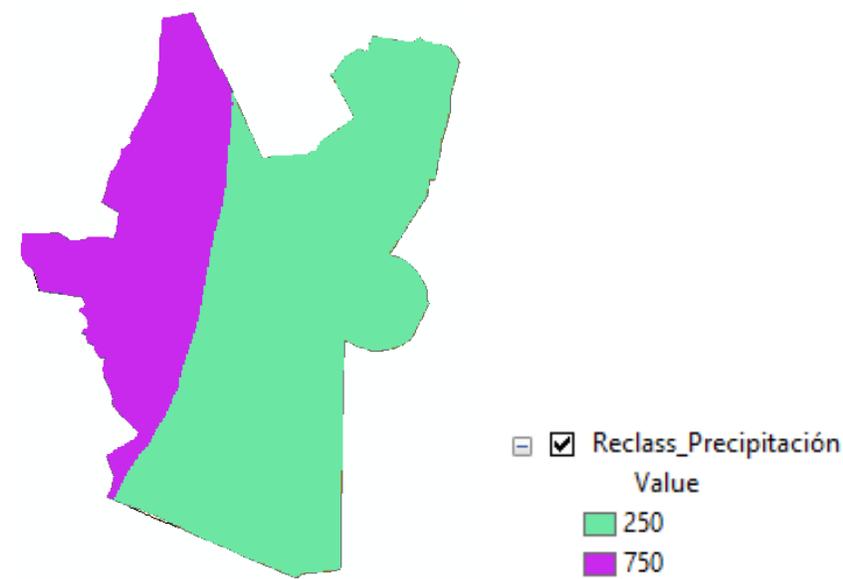


Imagen 74. Elaboración y representación de los nuevos valores para el criterio de precipitación en Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Con la nueva capa de valores con valores asignados mediante la elaboración del eigenvector, podremos trabajar de manera específica con datos que nos ayudaron a generar la interpretación de este criterio mediante diferentes geoprocursos.

La obtención de estos valores en decimales ayuda a la unificación para la comparación posterior, es necesario utilizar la herramienta dentro de ArcMap y con ayuda de operaciones matemáticas las capas raster generarán la capa de criterio correspondiente. Para la elaboración matemática requerimos una herramienta ubicada en la pestaña de “Map Algebra”, para poder seleccionar “Raster Calculator”, será la herramienta que permitirá generar la operación correspondiente para el raster, convirtiendo nuestros valores enteros en decimales, aplicando la fórmula $\text{Float}(\text{Reclass_Precipitación})/1000$, obteniendo como resultado la capa de valores decimales, la cual nombramos criterio de precipitaciones vector principal, como se muestra en la imagen 75.

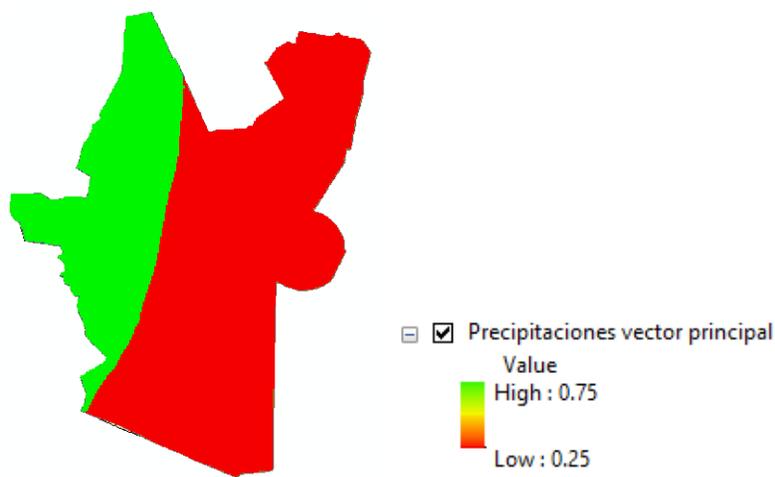


Imagen 75. Cálculo de operaciones Raster, para la obtención de la capa en valores decimales correspondientes al eigenvector e interpretación de los valores reclasificados. Fuente: Elaboración propia.

Para este criterio es muy notorio que existen muchos factores que se relacionan con las inundaciones que se representan en la misma zona, por razones naturales y la cercanía a las áreas montañosas, ya que son parte determinante dentro de un área lluviosa y vulnerable a las inundaciones.

Para poder tener el criterio de manera uniforme a los demás se continúa elaborando la nueva capa que será el criterio a unificar. El rango de valores para nuestros criterios va de 1 a 255 y con ayuda de la herramienta “Raster Calculator”, aplicando una fórmula que trabaja el método de Jerarquías Analíticas, para este criterio utilizaremos la siguiente fórmula:

“(((Precipitaciones Vector Principal - valor mínimo del raster)*(Valor máximo del rango – Valor mínimo del rango)) / (Valor máximo del raster – Valor mínimo del raster)) + Valor mínimo del rango”

Al realizar los procesos correspondientes, se logra concretar el criterio de “Precipitaciones” dentro de los valores asignados como se muestra en la imagen 75, para agregar a los criterios que serán unificados para lograr un análisis más completo.

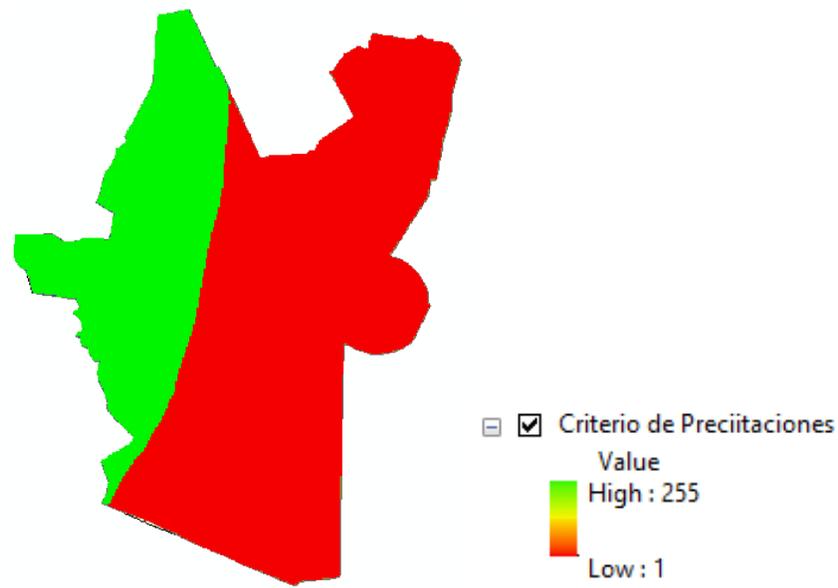


Imagen 75. Proceso para generar la capa raster para el criterio "Precipitaciones" con la representación en el rango de valores general para todos los criterios a unificar. Fuente: Elaboración propia.

Para la interpretación en este criterio, podemos visualizar la importancia que conlleva y la vulnerabilidad que se puede presentar a las viviendas construidas alrededor de las montañas, es importante considerar que los valores establecidos para la elaboración de la capa fueron valores promedio durante la época de fuertes lluvias, haciendo mención del tema en este estudio fue la inundación mediante fuertes precipitaciones en la zona de Ecatepec de Morelos en el Estado de México.

Con la elaboración de los 10 criterios correspondientes a las afectaciones o posibles afectaciones que pudiera tener nuestra área de estudio en relación con las inundaciones causadas principalmente por las fuertes precipitaciones, podremos continuar con la generación de la unificación de los mismos con el objetivo de generar la representación de vulnerabilidad a inundaciones que pudieran presentar zonas que pertenecen al municipio de Ecatepec de Morelos en el Estado de México.

Unificación de los criterios.

Es común que dentro de un área de investigación existen diferentes factores que se relacionen entre sí para poder determinar diferentes objetivos que se pudieran plantear en base a los diferentes fenómenos naturales, sociales, económicos, etc., que rodean a un área determinada.

En esta investigación se ha trabajado con alternativas que se relacionen con las inundaciones en áreas urbanas, específicamente dentro del municipio de Ecatepec de Morelos en el Estado de México. Se han identificado varios causantes importantes, los cuales fueron procesados mediante un método analítico, a través de geoprocamos dentro de un software especializado para el manejo de datos espaciales y operaciones matemáticas y matriciales.

Cada alternativa tiene una relación un poco más importante durante el tema de las inundaciones. Es por esa razón que el método de Jerarquías Analíticas propone la unificación de estos criterios. Dentro del software ArcMap, podremos generar una capa contenida de todos los criterios correspondientes a nuestro punto de interés.

Dentro de esta investigación, lo primero es determinar qué datos serán unificados, en esta ocasión serán unificados en 2 secciones, las cuales llamaremos Factibilidad de áreas inundables y Factibilidad de rutas o vías inundables. Al tener nuestras capas correspondientes después del geoprocamos, será necesario exportar nuestra capa de Raster a polígono y con ayuda de las herramientas de edición, crear la capa que haga la interpretación de la factibilidad a inundaciones en el área de Ecatepec de Morelos.

La Factibilidad de áreas inundables, será la capa que contiene las alternativas que se muestran en la Tabla 43, estas están relacionadas a un espacio geográfico, físico dentro de un área determinada, las cuales estarán relacionadas a un valor de preferencia previamente establecido en la capa Raster:

Factores de areas inundables	Preferencia
Distancia vulnerable	1
Manzana habitacional	2
Grado de humedad	3
Uso de suelo	4
Elevaciones	5

Tabla 43. Alternativas consideradas para pertenecer a la factibilidad de áreas inundables en Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Dentro del software seleccionaremos la unificación de estas alternativas, para eso la herramienta correspondiente es la suma ponderada, se ubica dentro de la barra de

herramientas principal “Arctoolbox”, la pestaña de “Spatial Analyst Tools”, posteriormente “Overlay” y ahí se podrá encontrar la herramienta “Weighted Sum”, dentro de la cual nuestras alternativas van a generar una relación en base a la vulnerabilidad de inundaciones, para obtener una representación en Raster con la información que corresponde para el análisis, como se muestra en la Imagen 76.

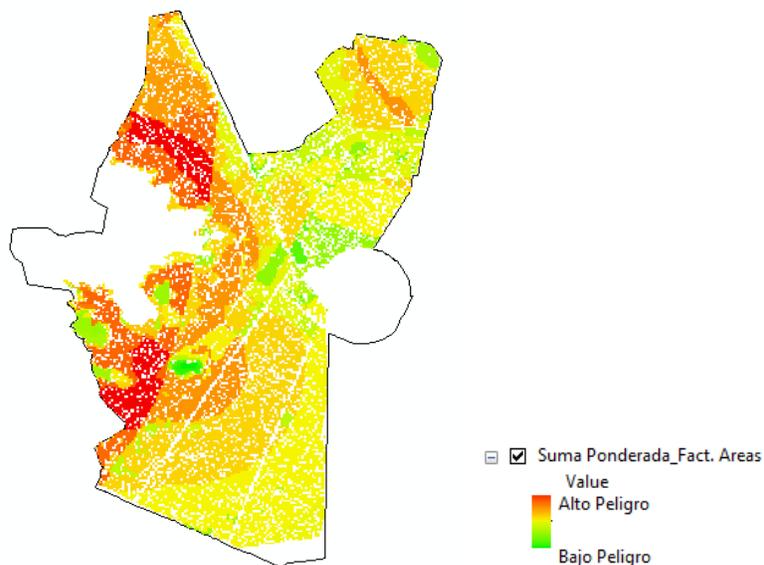
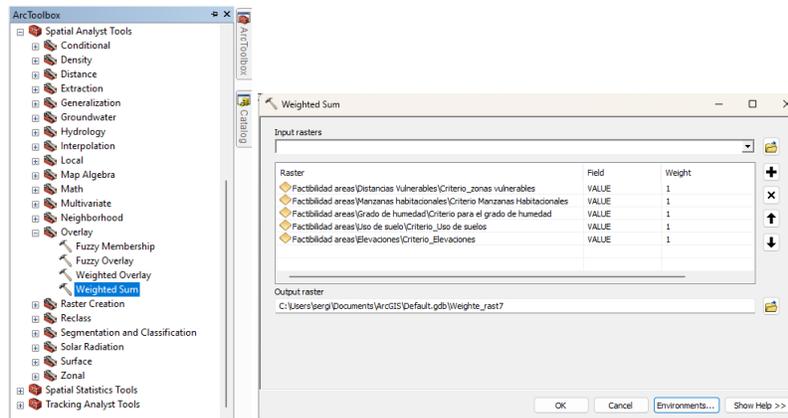


Imagen 76. Elaboración y representación de la suma ponderada para la factibilidad de áreas inundables. Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar son áreas en color rojo las que nos representan una gran vulnerabilidad en relación a las alternativas establecidas para la unificación de estos criterios. Dentro de las capacidades humanas tenemos la relación de establecer relaciones

entre los objetos o las ideas, es decir, que se relacionan bien entre sí y sus relaciones muestran congruencia, lo que existe en el cerebro es un ordenamiento jerárquico para los elementos.

El método de las jerarquías analíticas mide la inconsistencia global de los juicios mediante la Proporción de Conciencia que es el resultado de la relación entre el Índice de Consistencia (IC), es una medida de la desviación de consistencia de la matriz de comparación a pares y el Índice Aleatorio, es el índice de consistencia de una matriz recíproca aleatoria. El valor de esta proporción de consistencia no debe de superar el 10% para que sea evidencia de un juicio informado.

Para el cálculo de la Relación de consistencia, Saaty definió una relación donde los cálculos corresponden a un resultado donde el juicio puede ser evidenciado como un juicio informado en base a los criterios y alternativas seleccionadas.

La relación de consistencia se obtiene de un proceso de operaciones matriciales, donde se relaciona la matriz de preferencia, la matriz normalizada, el eigenvector y el vector de consistencia.

Al igual que en las alternativas, se genera en base a la escala de Saaty, la matriz de preferencia, dentro de la cual se puede generar el vector de consistencia, resultado de la suma de cada columna de la matriz de preferencia, como se muestra en la Tabla 44. Posteriormente se genera la normalización del vector para tener la suma correspondiente que se utiliza para la elaboración del eigenvector, como se muestra en la Tabla 45

Matriz de preferencia					
Factores de áreas inundables	1	2	3	4	5
Distancia vulnerable	1.00	1.00	3.00	7.00	7.00
Manzana habitacional	1.00	1.00	3.00	5.00	5.00
Grado de humedad	0.33	0.33	1.00	3.00	3.00
Uso de suelo	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Elevaciones	0.14	0.20	0.33	0.33	1.00
Vector de consistencia	2.62	2.73	7.67	16.33	19.00

Tabla 44. Matriz de preferencia de los factores de áreas inundables dentro de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Matriz normalizada						
Factores de áreas inundables	1	2	3	4	5	suma
Distancia vulnerable	0.382	0.366	0.391	0.429	0.368	1.936
Manzana habitacional	0.382	0.366	0.391	0.306	0.263	1.708
Grado de humedad	0.127	0.122	0.130	0.184	0.158	0.721
Uso de suelo	0.055	0.073	0.043	0.061	0.158	0.390
Elevaciones	0.055	0.073	0.043	0.020	0.053	0.244

Tabla 45. Matriz Normalizada para los factores de áreas inundables. Fuente: Elaboración propia.

Este proceso nos da como resultado el eigenvector, el cual se muestra en la Tabla 46 y contiene los pesos o valores de interés que lleva cada factor en relación con las lluvias que son el tema principal por el cual se ejecuta esta investigación.

Factores de áreas inundables	Eigenvector
Distancia vulnerable	0.39
Manzana habitacional	0.34
Grado de humedad	0.14
Uso de suelo	0.08
Elevaciones	0.05
Suma de Eigenvector	1.000

Tabla 46. Valores del eigenvector para los factores de áreas inundables correspondientes al municipio de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Estos valores que se obtuvieron ayudan para generar el resultado de la relación de consistencia, la cual consiste en calcular el valor máximo propio de la matriz de comparación de pares (λ), el cual es igual a la multiplicación del vector de prioridades o eigenvector por la matriz de consistencia.

Con este resultado se puede calcular el Índice de Coincidencia (IC) y para finalmente obtener la Relación de Consistencia necesitamos del Índice Aleatorio (RI) que se muestra en la tabla 47, la cual es una tabla elaborada por Saaty que muestra los índices de consistencia para una serie de matrices aleatorias con recíprocos forzados.

ÍNDICES ALEATORIOS POR TAMAÑO DE MATRIZ

Tamaño de la Matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice Aleatorio	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fuente: Thomas Saaty, 1997. Toma de decisiones para líderes.

Tabla 47. Matriz de índices aleatorios (RI) por tamaño de matriz. Fuente: Saaty, 1990

La operación final para generar la Relación de Consistencia, es $RC = CI / RI$, como se muestra en la Tabla 48. En un juicio informado una Relación de Consistencia (RC) debe de ser menor a 0.10, ya que un valor menor a 0.10 indica un nivel razonable de consistencia en las comparaciones, un valor mayor a 0.10 indica inconsistencia en los juicios, observando nuestros valores y en base a la metodología se cumplen los juicios de valor con los valores de consistencia razonables para generar un resultado que ayude en el análisis de la investigación.

Factores de áreas inundables	Vector suma ponderada	Vector de consistencia
Distancia vulnerable	1.014	2.62
Manzana habitacional	0.934	2.73
Grado de humedad	1.106	7.67
Uso de suelo	1.275	16.33
Elevaciones	0.928	19.00
Lambda =		5.2569
índice de consistencia IC=		0.064
Relación de Consistencia RC=		0.0573

Tabla 48. Operaciones matriciales para la obtención de los valores de la Relación de Consistencia, para los factores de áreas inundables. Fuente: Elaboración propia.

Factibilidad de rutas o vías inundables, de igual manera se va a generar la capa correspondiente a la unificación de varios criterios correspondientes a las vías o rutas establecidas para la vulnerabilidad en las inundaciones, dentro de este proceso se van a contemplar las alternativas que se muestran en la Tabla 49.

Factores de vías o rutas inundables	Preferencia
Precipitaciones	1
Distancia vulnerable	2
Tipos de vía	3
Sentidos de circulación	4
Carriles en vías	5

Tabla 49. Alternativas que corresponden a la unificación de factores de áreas inundables en el municipio de Ecatepec.
Fuente: Elaboración propia.

Se continúan con los pasos que corresponden a la utilización del software, donde seleccionaremos la unificación de estas alternativas, la herramienta correspondiente es la suma ponderada, se ubica dentro de la barra de herramientas principal “Arctoolbox”, la pestaña de “Spatial Analyst Tools”, posteriormente “Overlay” y ahí se podrá encontrar la herramienta “Weighted Sum”, dentro de la cual nuestras alternativas van a generar una relación en base a la vulnerabilidad de inundaciones, para obtener una representación en Raster con la información que corresponde y poder ser preparadas para el análisis, como se muestra en la Imagen 77.

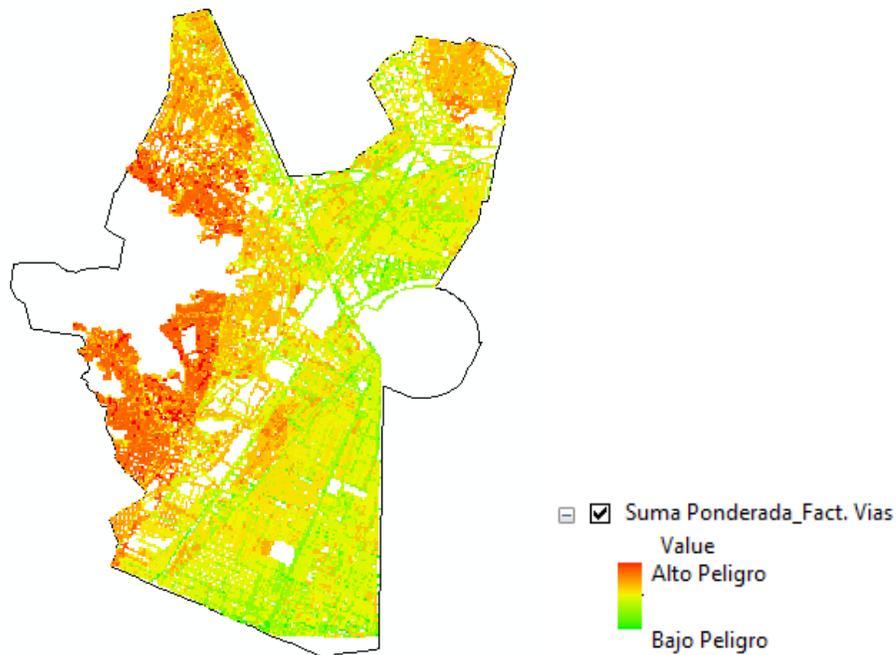


Imagen 77. Elaboración y representación de la suma ponderada para la factibilidad de vías o rutas inundables. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede analizar en estos factores de igual manera es notoria que las vías que se ubican dentro de la parte roja de la representación de valores es la zona más vulnerable a una inundación considerando los criterios para vías o rutas inundables.

Para la obtención de la Relación de Consistencia se ejecutan las operaciones con el método para la unificación anterior, donde se genera el eigenvector por medio de la matriz de preferencia, la matriz normalizada y posteriormente realizar las operaciones matriciales correspondientes para terminar generando el valor de la Relación de Consistencia para la unificación del factor de vías o rutas inundables.

Lo primero es generar la matriz de preferencia en base a la escala de preferencias de Saaty, como se ha elaborado anteriormente y se muestra en la Tabla 50. La suma de columnas de la matriz de preferencias es el producto matricial para la matriz de consistencia de igual manera. Posteriormente se obtiene la matriz normalizada como se muestra en la tabla 51.

Matriz de preferencia					
Factores de vías o rutas inundables	1	2	3	4	5
Precipitaciones	1.00	1.00	3.00	5.00	7.00
Distancia vulnerable	1.00	1.00	3.00	5.00	3.00
Tipos de vía	0.33	0.33	1.00	3.00	3.00
Sentidos de circulación	0.20	0.20	0.33	1.00	1.00
Carriles en vías	0.14	0.33	0.33	1.00	1.00
Vector de consistencia	2.68	2.87	7.67	15.00	15.00

Tabla 50. Matriz de preferencia para los factores de áreas inundables dentro del municipio de Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

Matriz normalizada						
Factores de vías o rutas inundables	1	2	3	4	5	suma
Precipitaciones	0.374	0.349	0.391	0.333	0.467	1.914
Distancia vulnerable	0.374	0.349	0.391	0.333	0.200	1.647
Tipos de vía	0.125	0.116	0.130	0.200	0.200	0.771
Sentidos de circulación	0.075	0.070	0.043	0.067	0.067	0.321
Carriles en vías	0.053	0.116	0.043	0.067	0.067	0.346

Tabla 51. Matriz normalizada para los factores de vías o rutas inundables dentro del municipio de Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

Con la generación de estas matrices y estas sumas podemos tener como resultado el eigenvector que se observa en la Tabla 52, el cual será utilizado en el proceso de obtener el índice de Relación para este criterio como se muestra en la Tabla 53.

Factores de vías o rutas inundables	Eigenvector
Precipitaciones	0.383
Distancia vulnerable	0.329
Tipos de vía	0.154
Sentidos de circulación	0.064
Carriles en vías	0.069
Suma de Eigenvector	1.000

Tabla 52. Valores del eigenvector para los factores de vías o rutas inundables. Fuente: Elaboración propia.

Factores de vías o rutas inundables	Vector suma ponderada	Vector de consistencia
Precipitaciones	1.024	2.68
Distancia vulnerable	0.944	2.87
Tipos de vía	1.183	7.67
Sentidos de circulación	0.964	15.00
Carriles en vías	1.039	15.00
	Lambda =	5.1547
	índice de consistencia IC=	0.039
	Relación de Consistencia RC=	0.0345

Tabla 53. Operaciones matriciales para la obtención de los valores de la Relación de Consistencia, para los factores de vías o rutas inundables. Fuente: Elaboración propia.

Como podremos recordar, en un juicio informado una Relación de Consistencia (RC) debe de ser menor a 0.10, ya que un valor menor a 0.10 indica un nivel razonable de consistencia en las comparaciones, un valor mayor a 0.10 indica inconsistencia en los juicios, observando nuestros valores y en base a la metodología se cumplen los juicios de valor con los valores de consistencia razonables para generar un resultado que ayude en el análisis de la investigación.

En la Imagen 78 se puede observar el resultado de la suma ponderada en representación después de realizados los geo procesos correspondientes, donde podemos tener la representación final que conlleva una inundación en base a datos y alternativas reales que se involucran de manera jerárquica en el desarrollo de las inundaciones a lo largo del municipio de Ecatepec de Morelos en el Estado de México.

Como podemos en color rojo se ubican las zonas más vulnerables, el resultado de esta investigación fue basar datos y criterios que se relacionarán con los elementos que pudieran generar inundaciones dentro de un área la cual se encuentra rodeada del valle de México, es por eso que dentro del municipio de Ecatepec, existen factores que hacen que se vuelva una zona inundable, especialmente en temporadas de fuertes lluvias, ya que existen corrientes de agua que pudieran generar caos y muchos problemas para la población habitante y transitaste.

Dentro de la otra representación gráfica podemos notar que existen muchas colonias que se encuentran mencionadas en la alternativa de distancias cercanas y que se ubican en las zonas correspondientes al alto peligro que puede existir en inundaciones para el municipio de Ecatepec.

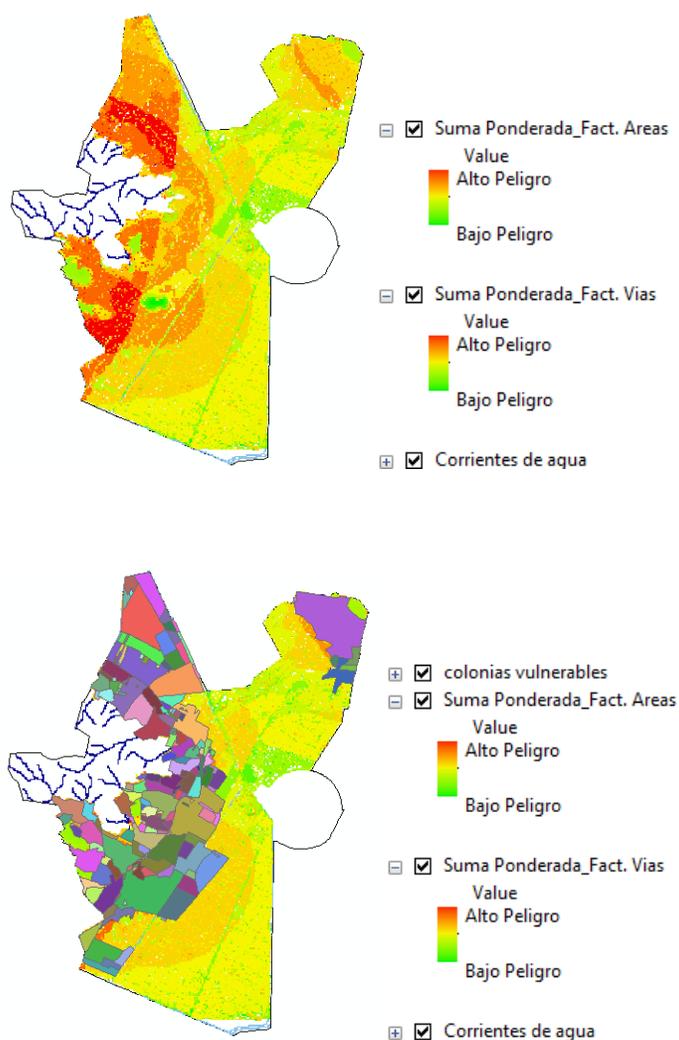


Imagen 78. Representación de las capas de resultados correspondientes a las sumas ponderadas con los factores de áreas y vías inundables para el municipio de Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente esta investigación podrá ser presentada y procesada sobre una imagen satelital la cual dará más credibilidad para mostrar el área de interés que se manejó durante todo el proyecto.

Modelo digital de la inundación con ayuda de imágenes satelitales.

En la actualidad existen muchas herramientas que nos ayudan a tener una representación más clara de la superficie terrestre, tal es el caso de las imágenes satelitales que hacen posible el manejo de una enorme cantidad de datos que nos dicen como se ha usado el suelo y que características posee, además de que brindan información para la medición de riesgos, y de aspectos indispensables y estratégicos en el aprovechamiento del suelo y de los recursos propios de cada región para impulsar su desarrollo. Estas fotografías de satélite son el producto obtenido por un sensor instalado a bordo de un satélite artificial, mediante la capacitación de la radiación electromagnética emitida o reflejada por un cuerpo que posteriormente se transmite a estaciones terrestres para su visualización, procesamiento y análisis.

Las imágenes de observación de la Tierra dependen de la clase de sensor y de la finalidad de capacitación con la cual se elaboran los satélites. Desde las primeras cámaras fotográficas montadas en satélites en la época de los 60, hasta la actualidad se han ido desarrollando, teniendo una amplia gama de tipos de imágenes satelitales que se utilizan en la actualidad en diversas áreas, dependiendo de su resolución espacial y de la información espectral que posean.

La disponibilidad de imágenes satelitales gratuitas con diferentes resoluciones como lo son: espacial, espectral, radiométrica y temporal, permite el uso de este recurso en distintos ámbitos, escalas y con distintas finalidades. Como por ejemplo, se puede aplicar en espionaje militar, monitoreo de cambio climático de incendios e inundaciones, las evaluaciones multiespectrales de la vegetación, hasta las aplicaciones que tanto nos deslumbran hoy, como lo es poder mirar el techo de tu casa con la aplicación Google Earth.

Existen infinidad de aplicaciones probadas y potenciales de las imágenes satelitales, así como numerosos proyectos de nuevos sensores para ser aplicados, no solamente por el monitoreo de nuestro planeta, sino también para el mapeo y el análisis de otros astros del sistema solar. (Axess Network, 2021).

Dentro de esta investigación el uso de las imágenes satelitales será para una representación más acercada a la realidad, es decir, un modelo digital del terreno, proveniente de una capa satelital que maneja nuestro software. En la cual podremos

combinar nuestros resultados dentro de la imagen satelital que representa el municipio de Ecatepec de Morelos dentro del Estado de México.

En la imagen 79 se puede observar gran parte del área metropolitana que pertenece al valle de México, donde ubicamos nuestra área de estudio. Es importante poder realizar las ediciones convenientes para poder lograr una representación de nuestra área de interés o peligro que se trabajó a lo largo del proyecto.

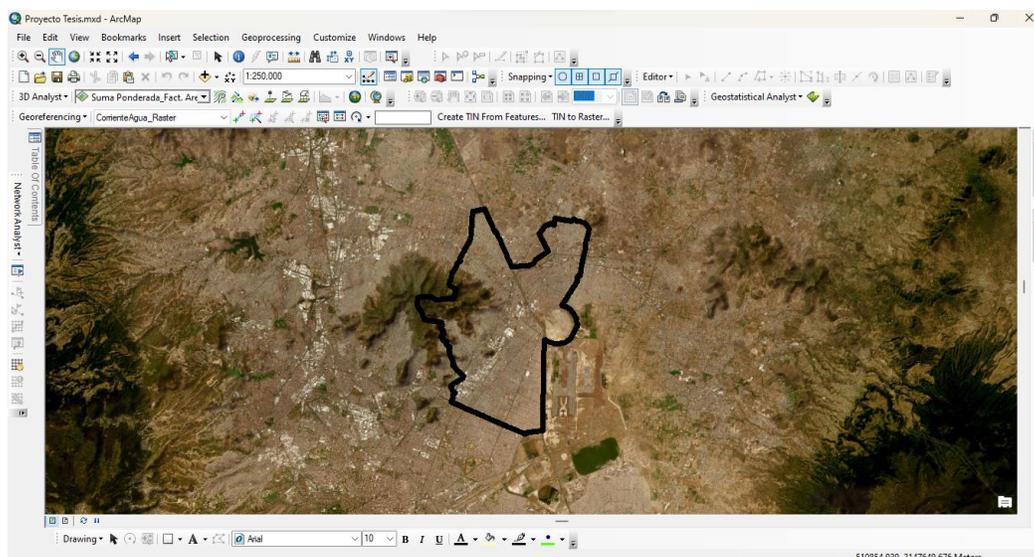


Imagen 79. Imagen satelital que muestra la representación del valle de México en escala 1:250 000, marcando la delimitación del municipio de Ecatepec de Morelos en el Estado de México. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, una imagen satelital es una representación visual de un pedazo del planeta Tierra, que se obtiene a través de las cámaras integradas a los diferentes satélites. El aumento de la resolución de las imágenes satelitales ha llegado a identificar objetos menores al metro de tamaño, la inclusión de partes de la radiación solar “no visible” (principalmente infrarrojos) en dichas imágenes, las fotografías aéreas digitales, la utilización de vehículos aéreos no tripulados (VANT o drone), que hacen posible una nueva gama de opciones para la determinación de superficies.

Pero el mayor potencial de la mirada “desde el cielo” no está en lo “visible”, las imágenes satelitales en realidad están compuestas por numerosas imágenes, denominadas bandas, y estas imágenes están generadas, en parte, por la fracción “visible” de la radiación solar reflejada en la superficie terrestre y en parte por la fracción “no visible” de esa radiación (principalmente infrarrojos). Siendo la Teledetección quien se encarga de la explicación del comportamiento, procesamiento e interpretación de cada imagen satelital.

Capítulo 6 “Resultados”.

Dentro de todo tipo de investigación un resultado es la elaboración final para poder concretar si el objetivo principal fue resuelto, determinar alternativas derivadas del proceso de elaboración del proyecto, hasta concretar una conclusión en base a todos los elementos que se utilizaron.

Dentro de este proyecto podemos determinar que se obtuvieron resultados esperados y otros que son de llamar la atención, en general se considera que es una investigación elaborada con bastantes factores que producen las lluvias en un área urbana y eso genera que el resultado pueda tener diversos puntos de interés.

Siendo ahí la parte determinante de la elección del método, el cual fue elegido en base a las posibles alternativas existentes y en cuanto a la posible unificación en base a un acomodo jerárquico con relación a los factores que ocasionan una inundación en el municipio de Ecatepec de Morelos.

Interpretación de los resultados.

Los resultados obtenidos dentro de esta investigación fueron muy favorables, en cuanto a los objetivos que fueron planteados, es posible visualizar el comportamiento de los datos mediante se va desarrollando el SIG, existen zonas que tienen datos de mucha relación en diversos factores que se relacionan con la vulnerabilidad a sufrir inundaciones, creando problemáticas sociales. El municipio de Ecatepec es una de las zonas del área metropolitana muy pobladas en cuanto a los distintos usos de suelo, vías de comunicación, entre otros temas como la forma que presenta el terreno.

La elaboración del método de jerarquías analíticas, fue elegida con la finalidad de poder determinar una escala de jerarquías para los factores que producen inundaciones, lo cual favoreció en cuanto a la toma de decisiones para la problemática que se estuvo investigando, se consideraron 10 factores que contenían alternativas que se encargan de crear dichos factores, fueron procesados de manera individual, hasta generar cada una de las capas con valores entre 1 y 255 para terminar unificándolos en 2 diferentes grupos, generando una capa final con la intención de representar el área final que tiende a ser más vulnerable a sufrir una inundación.

Dentro de esta interpretación final también se añadió la capa con la representación de las posibles corrientes de aguas naturales que descienden de la parte alta de las montañas y

a su vez la capa de las limitaciones de posibles colonias vulnerables a inundaciones, que se obtuvieron con anterioridad, ya que se encuentran ubicadas en áreas de mayor peligro, pertenecientes al municipio de Ecatepec de Morelos en el Estado de México.

Con la obtención del mapa de áreas vulnerables, se puede analizar que la mancha urbana abarca una gran parte del municipio con distintos tipos de viviendas, haciendo que los habitantes sean vulnerables a diferentes problemas. Como se puede observar en la imagen 80, las representaciones en color rojo, nos demuestran que con la ejecución de esta investigación, una parte de la población es vulnerable a sufrir afectaciones, sobre todo cuando es temporada de fuertes precipitaciones que se presentan en la zona.

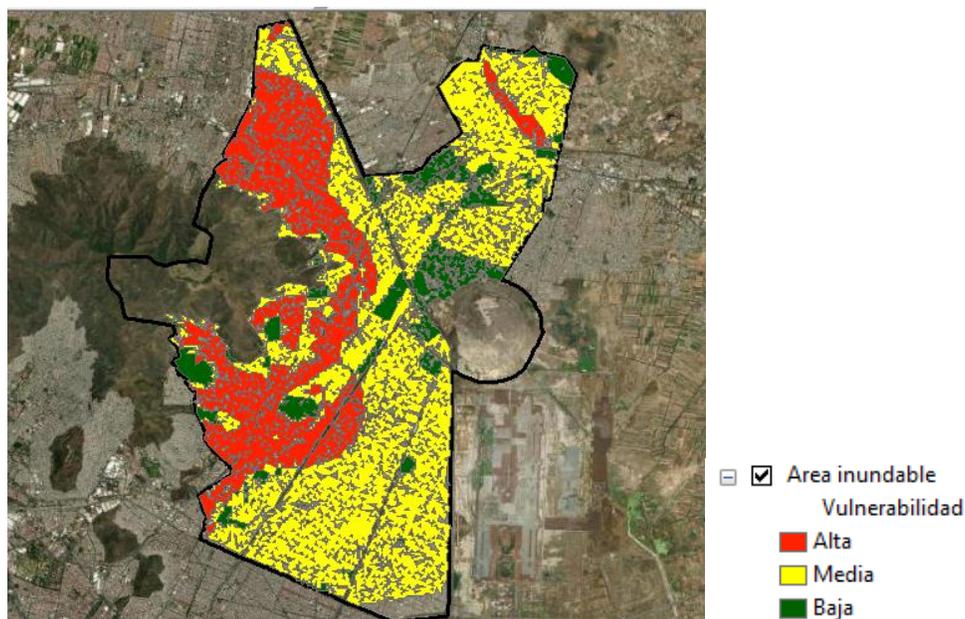


Imagen 80. Representación final de la capa correspondiente a las áreas inundables dentro de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Con esta representación se puede interpretar que la mancha urbana en esta zona y en las aledañas, es muy extensa, rodeando las diferentes montañas que delimitan la zona del Valle de México, siendo una de las principales razones por las cuales las lluvias logran llegar al área urbana, al generar las diferentes capas, puedes ir notando las diferentes características que se presentan el municipio de Ecatepec.

Con la obtención del mapa de vías con mayor vulnerabilidad fue posible analizar las vías de comunicación que existen para ayudar a que el agua desaloje por el suelo y el subsuelo

de las calles principales por donde se pudiera trasladar. Observando la imagen 81, podemos darnos cuenta que existen muchas calles y callejones cercanos a las faldas de las montañas por donde es posible que la red de drenaje no sea suficiente para abastecer el agua acumulada y así ser considerados como un determinante para el daño que se generan en temporadas de fuertes precipitaciones, de igual manera se puede visualizar que dentro de estos factores elegidos el amarillo predomina, ya que, al estar en una zona determinada como valle y al tener una gran cantidad de población habitacional, se crean muchas pequeñas calles que a su vez alimentan a diferentes factores que hacen que las vías de comunicación sean catalogadas con una vulnerabilidad media

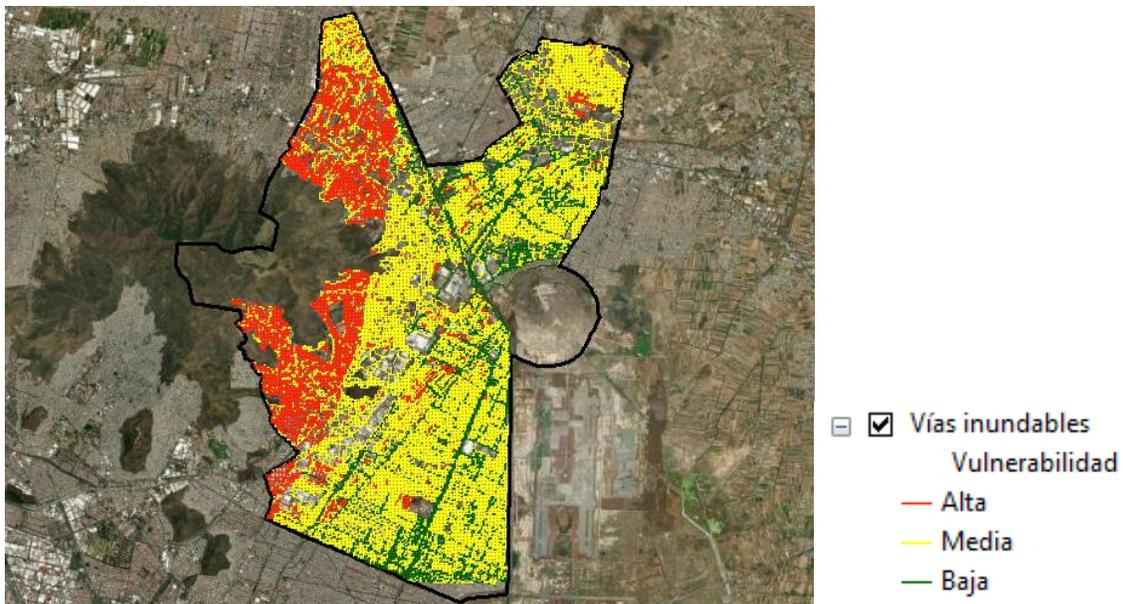


Imagen 81. Representación final de la capa correspondiente a las vías inundables dentro de Ecatepec. Fuente: Elaboración propia.

Con esta representación, se nota que dentro de este municipio la población existente es mucha, es por eso que fue una de las causas para ser elegida en este método de estudio, en relación con las inundaciones. Si bien existen muchas alternativas o factores que aumentan la vulnerabilidad en las zonas, debemos de estar conscientes que el principal factor que aumenta el riesgo no es la naturaleza, somos los seres humanos que día con día, contaminamos el planeta y con el paso del tiempo los actos de contaminación generan muchas alteraciones dentro del ambiente, cambiando de manera directa la interacción con los fenómenos naturales.

Resultados de la metodología para el reconocimiento de áreas de interés.

Dentro de un SIG algo esencial para su ejecución es un área de interés, en base a un problema o afectación, principalmente social. Para el desarrollo de un SIG dentro de esta investigación, se puede determinar que fueron insumos suficientes, proporcionados por diferentes portales de datos abiertos, eso facilita la obtención puntual de diversos factores.

Cómo fue posible a través de este proyecto de posibles inundaciones dentro de un área urbana, pudimos conocer que existen muchos factores involucrados en este tema, con la elaboración de la investigación, se fue desarrollando un SIG que contiene datos geográficos, datos estadísticos, datos espaciales, etc. Los cuales se fueron elaborando paso a paso siguiendo el objetivo principal en base a las especificaciones del método de Jerarquías Analíticas.

Para el final de todos los procesos generados por el software especializado en el manejo de datos geo espaciales, ArcMap 10.3, fue posible tener 3 capas principales que forman el reconocimiento del área de interés para nuestro objetivo principal. Dentro de la imagen 82 se puede ver las 3 capas que fueron generadoras de las representaciones finales con datos obtenidos mediante este la elaboración de este proyecto.

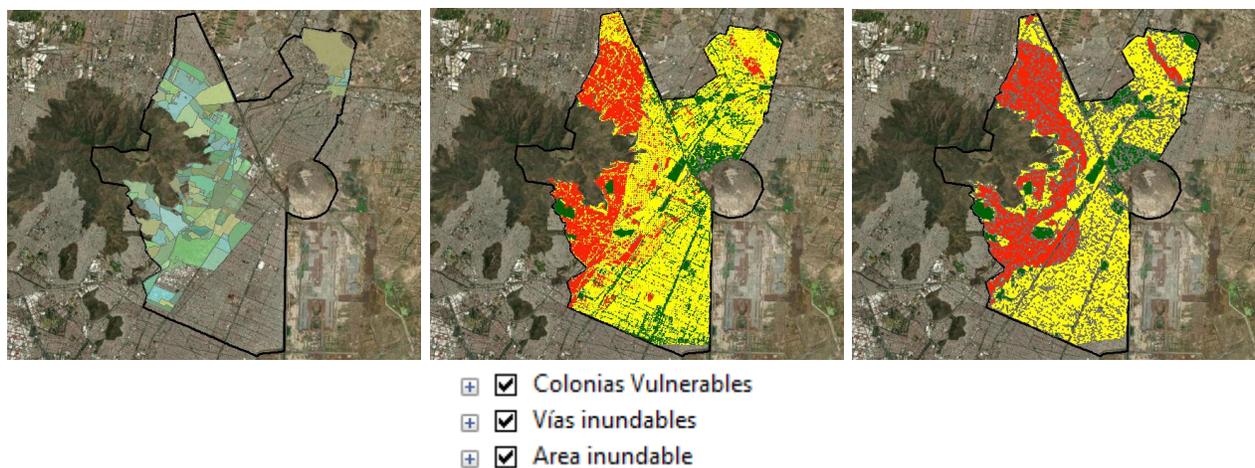


Imagen 82. Representación de las capas finales elaboradas mediante los reprocesos a través del software especializado, ArcMap 10.3

Dentro de toda esta información existen distintos factores relacionados en base a una jerarquía en la cual son más afectadas en caso de existir inundaciones y existen otros que afectan aún más directo a este tema. El municipio de Ecatepec, es uno de los municipios más poblados dentro del área metropolitana de la CDMX, al estar tan cerca a la gran

ciudad, genera que mucha población busque alojamiento dentro de esas zonas. Sin embargo, en un apartado de esta investigación se considera un subtema fundamental en la relación a las inundaciones en áreas urbanas, la contaminación; El hecho de que exista la humanidad genera desechos naturales y artificiales, lo cual a través del tiempo y la mala educación ecológica que se implanta entre la población, genera diferentes complicaciones, que se vuelven problemática con el pasar del tiempo, al grado de llegar a tener enormes cantidades de basura que generan que el alcantarillado se tape y la función adecuada del drenaje se vea obstruida, lo que provoca que en temporada de lluvias exista el riesgo de inundaciones.

Finalmente la metodología que se elaboró para la representación y reconocimiento del área de interés, fue efectiva, ya que se pudo trabajar con bastantes alternativas que mostraron un resultado visual que se puede interpretar por la relación entre zonas urbanas e inundaciones, como se puede observar en la Imagen 83, se unificaron las capas generadas, dándonos una representación visual de colonias vulnerables a inundaciones en épocas de precipitaciones, con base en una imagen satelital, delimitada por la zona geográfica del municipio de Ecatepec, con la representación gráfica de vulnerabilidad a inundaciones por medio de colores (Verde, Amarillo y Rojo).

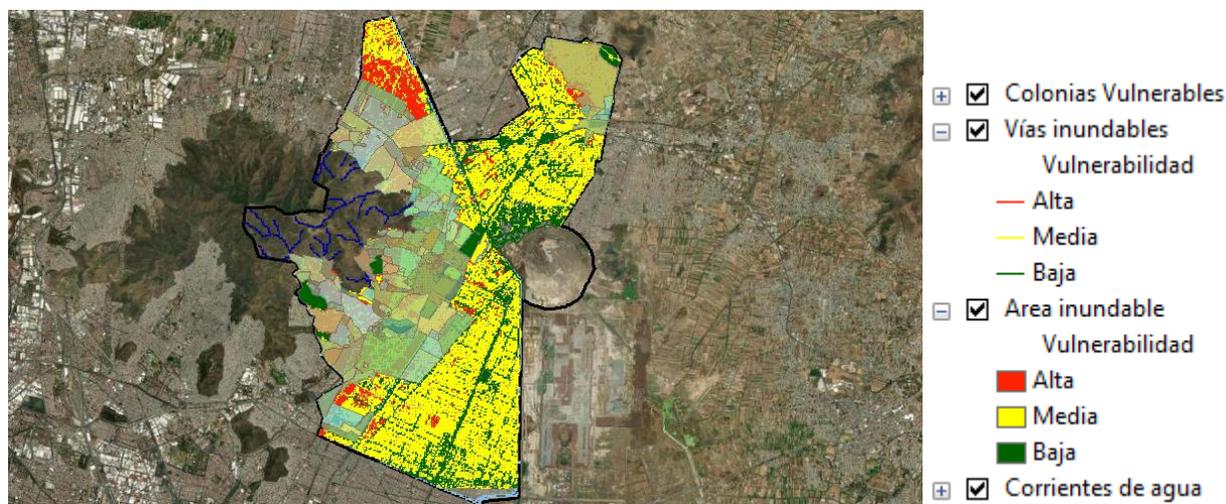


Imagen 83. Representación visual del área de interés y las capas generadas en relación a las zonas vulnerables a inundaciones dentro de la zona urbana del municipio de Ecatepec de Morelos.

Representación del Modelo digital con ayuda de imágenes satelitales.

Hoy en día con los sistemas de información geográfica el modelo digital de elevación tiene un abanico de representaciones que permiten al usuario desarrollar mejores análisis de

estos datos del relieve ya que permiten visualizar los mismos mediante tintas hipsométricas, realizar perfiles longitudinales, obtener vistas en 3D, modelamiento dinámico en 3D, gamas tradicionales de color, intervalos de color de acuerdo a la variación y rangos de la elevación, sobre posición de datos o información en formato vectorial o raster de diferentes ámbitos, temas y aplicaciones. (INEGI,2022)

Para este proyecto la elaboración del modelo digital fue mediante el método de la digitalización de cartografía topográfica.

En este método se utilizan los mapas topográficos, ya que proporcionan información acerca del relieve del terreno, dicha información viene en forma de curvas de nivel y puntos de altura (elevaciones de las puntas de los cerros o puntos bajos en los valles), como se puede observar en la Imagen 84. Con la representación visual de la imagen Raster o MDE del municipio de Ecatepec se procede a realizar el proceso de interpretación de elevaciones, con una capa TIN, Las TIN son una forma de datos geográficos digitales basados en vectores y se construyen mediante la triangulación de un conjunto de vértices (puntos). Los vértices están conectados con una serie de aristas para formar una red de triángulos, con la cual conoceremos la manera en que está conformada nuestra superficie, como se muestra en la Imagen 85.

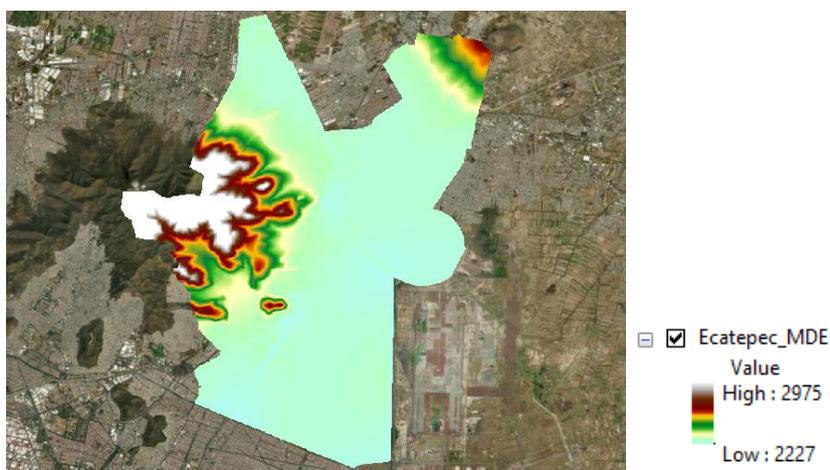


Imagen 84. MDE (Modelo Digital de Elevaciones) del municipio de Ecatepec de Morelos, Estado de México. Fuente: Elaboración propia.

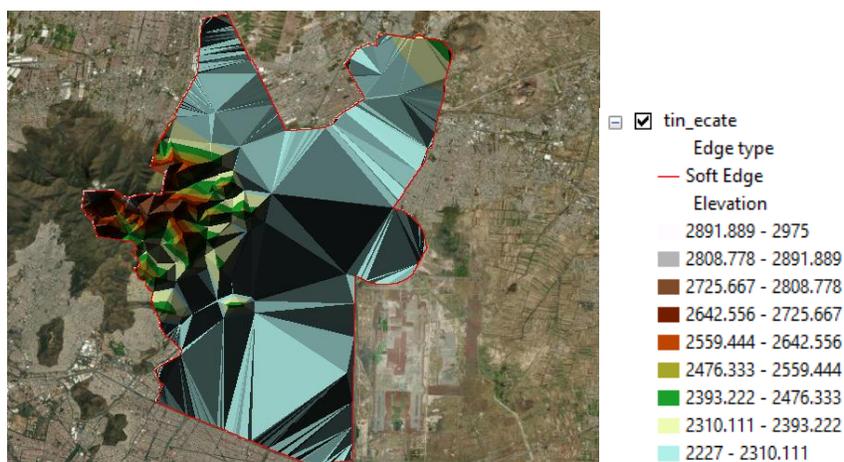


Imagen 85. Representación TIN para la creación de un modelo digital de elevaciones, del municipio de Ecatepec de Morelos.

El modelo digital de elevación (MDE) recrea la forma del terreno una vez que fueron removidos todos los elementos ajenos al mismo como son la vegetación, edificaciones y demás elementos que no forman parte del terreno, pudiendo lograr una representación visual más clara de nuestra zona de interés. Dentro de las herramientas aleatorias que presenta el software de ArcMap 10.3, encontramos ArcScene, dentro de esta parte podremos manipular el modelo digital de elevaciones del municipio de Ecatepec, en conjunto con diferentes capas que hemos generado para esta investigación, se podrá generar una representación en movimiento de las áreas vulnerables a inundaciones en épocas de fuertes precipitaciones. Esta herramienta es muy efectiva para poder analizar el archivo dentro de un mapa en 3D, se procede a utilizar el MDE, una ortofoto y la capa que hace la representación de las zonas vulnerables dentro de Ecatepec, como se muestra en la Imagen 86.

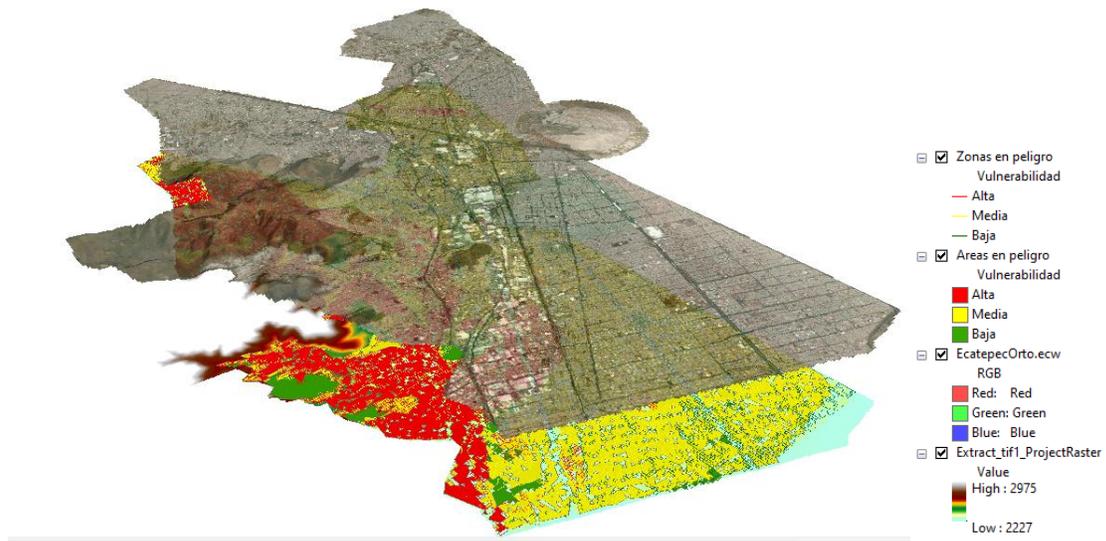


Imagen 86. Representación visual final en 3D del modelo digital de elevaciones en conjunto con áreas y vías vulnerables a inundaciones dentro de Ecatepec de Morelos. Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar un modelo digital de elevaciones es muy efectivo para poder visualizar de una manera diferente la representación de nuestro terreno natural. Dentro de la Geodesia y fotogrametría el propósito principal es el de producir modelos de alta calidad para otras aplicaciones como ingeniería civil, y cartografía, además de emplearse en la captura de datos fotogramétricos, determinación del geoide, métodos de control de calidad, como fuente de comprobación de mediciones del terreno, edición de datos del terreno, producción de ortofotografías, cartografía topográfica.

Para concluir, en el resultado de esta representación con base en una imagen satelital de Ecatepec, se pudo generar una secuencia de la posible inundación en las zonas más vulnerables que causarían las fuertes precipitaciones considerando los factores que se mencionan a lo largo de este proyecto, dentro de la Imagen 87 podremos ver una secuencia de escenas de las áreas que pudieran sufrir este fenómeno natural.

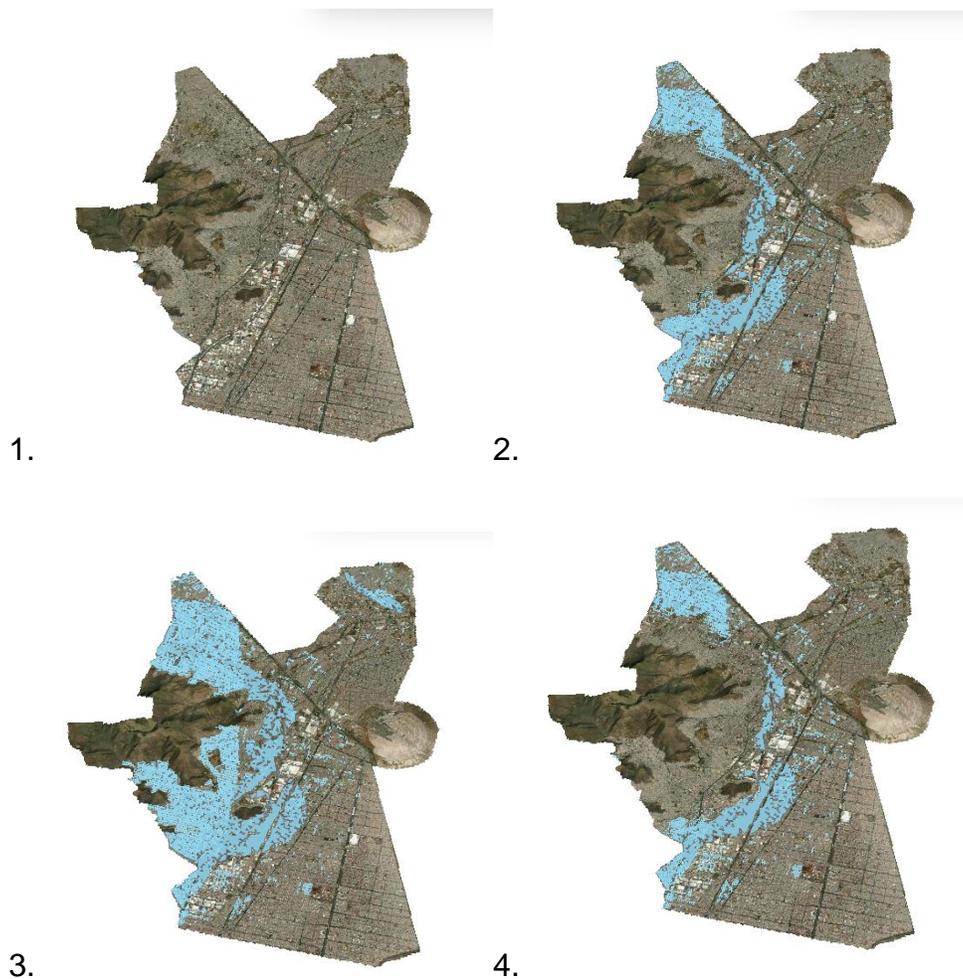


Imagen 87. Secuencia de escenas de la representación de una posible inundación dentro del municipio de Ecatepec de Morelos en las zonas más vulnerables del municipio. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, se cumplió el objetivo de generar una representación visual y en movimiento de una posible inundación dentro de Ecatepec de Morelos en el Estado de México, considerando las áreas o zonas que fueron vulnerables en base a los diferentes factores trabajados, es importante mencionar que este tipo de investigaciones pretenden generar un estado de conciencia para la sociedad, ya que el principal factor para sufrir inundaciones en zonas urbanas, radica principalmente en la contaminación que existe dentro de las áreas metropolitanas, pues como se sabe existen muchos vehículos, fábricas e incluso seres humanos que diario contaminamos el ambiente, alterando nuestro ecosistema y generando un mayor impacto en problemáticas que afectan a la sociedad por medio de fenómenos naturales.

Representación de un mapa temático como resultado para el reconocimiento de superficies inundadas en la zona de Ecatepec de Morelos.

En este ejercicio se obtuvieron alternativas que tuvieran la relación mancha urbana-precipitación, de lo cual existieron complicaciones al momento de generar los diferentes procesos, lo cual ayudó para la comprensión del método elaborado y de las herramientas utilizadas en la elaboración del SIG.

Algo que se pudo observar y analizar de la investigación fue la ubicación en la que el municipio se encuentra, pues si bien es una zona muy poblada, el ubicarse dentro de una cuenca proporciona que en general esta parte centro del país tienda a sufrir este tipo de inundaciones por lo regular en temporadas marcadas. El hacer consciente a la población de la existencia de estos fenómenos y la manera en que se podrían reducir los daños, radica en que la población comprenda la manera en limitar diferentes contaminantes que siguen dañando nuestro ambiente y generando alteraciones al orden natural que maneja el planeta.

Como podemos observar dentro de un mapa temático en el área de los SIG, se emplea para categorizar la Tierra y otras partes geográficas con el objetivo de mostrar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente, constituyen una metáfora eficaz para modelar y organizar información geográfica en forma de capas temáticas, de igual manera pueden llegar a ser interactivos, ofreciendo la interfaz con el usuario con el área donde se analiza la información geográfica.

La elaboración de este ejercicio colabora con el análisis final y con la interpretación visual de una mancha urbana que es muy propensa a tener que lidiar con las inundaciones provocadas por las fuertes precipitaciones, la combinación de factores que provocan las inundaciones son temas que afectan de manera directa a la población. Dentro de este proyecto se pretende mostrar mediante un análisis geo espacial la manera en que un fenómeno natural puede causar grandes daños dentro de un municipio dentro de una mancha urbana o área metropolitana.

Como resultado de esta investigación, se elaboró la representación de esta problemática planteada dentro del objetivo para esta investigación, en un mapa temático adecuando la información, datos, ubicación y elementos que complementan la interpretación de los resultados que se le puede mirar en la imagen 88, en donde se puede analizar que los resultados arrojan grandes extensiones de terreno con una característica en color amarillo, es decir, de media vulnerabilidad, ya que las zonas en color rojo son las más peligrosas para la sociedad, sabiendo que mientras menos conciencia en la población exista en cuanto al cuidado del medio ambiente, esto puede alcanzar zonas en color amarillo generando las inundaciones en temporadas de fuertes precipitaciones que se presenten en el municipio de Ecatepec de Morelos en el Estado de México.

Como resultado final se pudo generar la representación de las colonias afectadas en el año 2021, pues como se observa dentro de los resultados, las áreas afectadas son una representación que radican en la conjunción de diferentes factores que pudieran provocar inundaciones, ya que, como una representación no quiere decir que todas las colonias incluidas en nuestra capa final de vulnerabilidad, han tenido o sufrieron daños, pero en conjunto con los factores seleccionados, formaron parte de la posible vulnerabilidad, con la idea de concientizar a la población, que dentro del municipio existen alternativas que en un futuro causaron daños por medio de las inundaciones.

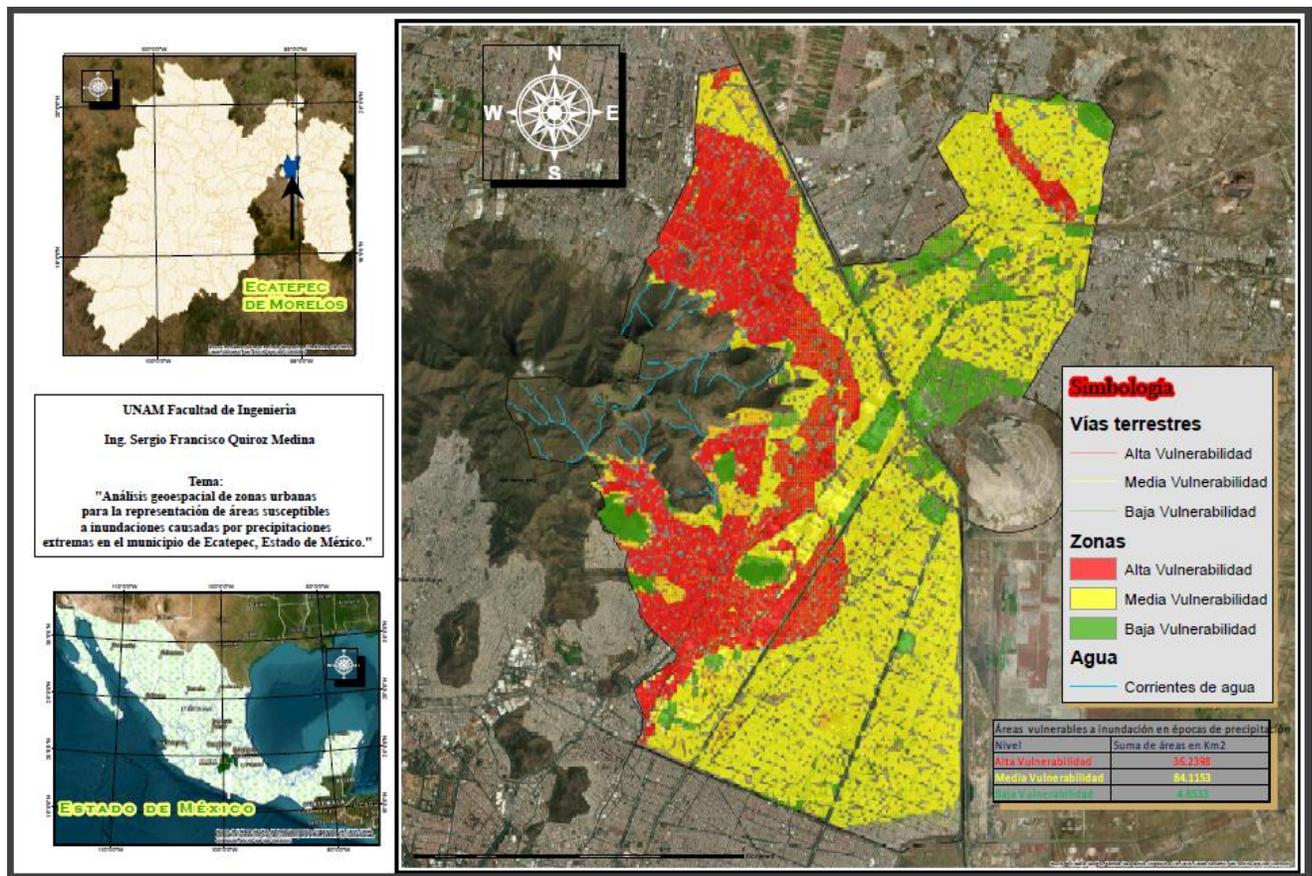


Imagen 88. Representación en un mapa temático de la información obtenida mediante los geoprocetos para visualizar los resultados y ejecutar un análisis en cuanto a la vulnerabilidad de áreas inundables dentro del municipio de Ecatepec de México, en el Estado de México.

Conclusiones y recomendaciones.

En este ejercicio se obtuvieron alternativas que tuvieran factores en relación mancha urbana-precipitación, de lo cual existieron bastantes, generando muchas variantes para el desarrollo de los diferentes procesos seleccionados, logrando la ejecución del método, con las herramientas utilizadas para la elaboración del SIG.

En el municipio de Ecatepec existen días muy variados, que incluye los días mojados dentro de la temporada de lluvias. Con esta investigación fue posible elaborar una representación de la posibilidad de inundación provocada por la precipitación para el municipio. Dentro del año 2021 se presentaron fuertes precipitaciones que tuvieron muchas afectaciones, debido a estos acontecimientos ocurridos en el municipio de Ecatepec se concretó el interés por ejecutar una representación de posibles inundaciones, con los factores trabajados, pudiendo considerar que existen muchas alternativas que afectan a la sociedad.

Como se hizo mención en diarios y noticias de la zona, en septiembre del año 2021 se registraron datos relevantes para el tema de inundaciones. Algo que se pudo observar y analizar a lo largo de la investigación fue la ubicación en la que el municipio se encuentra, pues si bien es una zona muy poblada, el ubicarse dentro de una cuenca proporciona que en general esta parte centro del país tienda a sufrir este tipo de inundaciones por lo regular en temporadas marcadas. Durante el desarrollo se notó que existe una complejidad en cuanto a un número exacto de habitantes por casa, razón por la cual se determinó generar un factor de usos de suelo, considerando que existen propiedades habitacionales, fábricas y terrenos de gran extensión, pudiendo así determinar la relación de la población con las colonias afectadas.

Teniendo como objetivo poder realizar una interpretación en relación con una inundación dentro del área de interés, se consideraron los datos registrados en ese año para poder tener un parámetro con datos generados previamente.

Es posible mencionar que se cumplieron los objetivos planteados, en relación a la elaboración de los mapas o imágenes que generaron una representación en base a la metodología. Los resultados que se obtuvieron fueron favorables para la creación de la representación de una posible inundación dentro del municipio de Ecatepec.

Tener en cuenta que dentro de una investigación de esta categoría las alternativas para poder determinar el causante de las inundaciones en áreas urbanas, es muy extenso, es por eso, que los factores o alternativas planteadas en esta investigación, no son los únicos que puedan tener relación con la problemática de inundaciones.

El desarrollo de este proyecto es un parámetro dentro del cual podemos utilizar esta metodología para generar un análisis en diferentes años, ya sea, posteriores o anteriores, para muchos temas, por ejemplo, el crecimiento de la mancha urbana, la eliminación de áreas verdes, entre otros. Siendo temas de mucho interés y en colaboración con las diferentes herramientas que presenta la Geomática, este tipo de investigaciones pueden tener un enfoque mucho más específico y mejorado, el conocer diferentes fenómenos que ocurren dentro de una población urbana tan extensa como lo es el municipio de Ecatepec, se debe recomendar principalmente, hacer consciente a la población de la existencia de estos fenómenos y la manera en que se podrían reducir los daños, este proyecto plantea una manera animada para idealizar a la población de la problemática que comprende una inundación y sus causantes en un área urbana, que son los diferentes contaminantes que siguen dañando nuestro ambiente y generando alteraciones al orden natural que maneja el planeta

El desarrollo de este proyecto fue la ejecución de lograr identificar áreas vulnerables a una inundación dentro del municipio de Ecatepec de Morelos, en el Estado de México, teniendo resultados muy favorables en base a herramientas y áreas que aplicamos dentro de la Ingeniería Geomática, que a su vez tiene mucho impacto en la sociedad, este tipo de análisis pueden ayudar a conocer e informarse con respecto a distintas problemáticas que conllevan un análisis de datos jerárquico.

Referencias.

Castillo Oropeza, O. A. y de Alba Murrieta, F. (2019). *“Estrategias sociales de adaptación frente a las inundaciones en la metrópolis de México”*. Ponto Urbe, en línea. Recuperado de: <http://journals.openedition.org/pontourbe/3471>

Castillo Oropeza, O. A. (2018). *“Al Filo del agua. Hacia una ecología política urbana de las inundaciones: Los casos de Ecatepec de Morelos y de Netzahualcóyotl”*. Ciudad de México. Recuperado de: <http://ilitia.cua.uam.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/231/1/Tesis%20Oscar%20Ad%C3%A1n%20Castillo%20Oropeza.pdf>

Blog del agua. (2013,18 de septiembre). *“Las peores inundaciones en México”*. Recuperado de: <https://blogdelagua.com/actualidad/inundaciones-en-mexico/>

Domínguez Mora, R. (2000, 1 de Octubre). *“Las inundaciones en la Ciudad de México. Problemáticas y alternativas de solución”*. Revista Digital Universitaria. Recuperado de: <https://www.revista.unam.mx/vol.1/num2/proyec1/>

Para todo México, (2019, 15 de Marzo). *“Entre cerros y volcanes”*. Relieve de la Ciudad de México. Recuperado de: <https://paratodomexico.com/estados-de-mexico/ciudad-de-mexico/relieve-ciudad-de-mexico.html>

Paot, INEGI. (2000). *“Capítulo 2. Condiciones geográficas de la zona metropolitana de la Ciudad de México”*. Recuperado de: <https://paot.org.mx/centro/inegi/amdf2000/cap2.pdf>

Ojeda, A. *“El suelo de México D.F.”*. Recuperado de: <https://geotecniafacil.com/suelo-ciudad-mexico-geotecnia/>

Cruz, Fernando. (2021) *“Al menos 19 colonias afectadas tras inundaciones en Ecatepec; así vivieron lluvias”*. Recuperado de: <https://www.unotv.com/estados/estado-de-mexico/edomex-al-menos-19-colonias-afectadas-tras-inundaciones-en-ecatepec/>

Linares, S. (2016) *“Soluciones Espaciales a problemas sociales urbanos”*. Tandil, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/106945/CONICET_Digital_Nro.8c0a9bbc-57dd-432d-a254-7fa5c70b4f8c_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

La Jornada. (28 junio 2011) “*Tragedias recurrentes, pese a obras millonarias*”. Sección: Política, Ciudad de México. Recuperado de: <https://www.jornada.com.mx/2011/06/28/politica/005n1pol>

Metro Red. (2021) “¿*Qué cantidad de lluvia cayó?*” y “*De la sequía a la inundación*”. Recuperado de: <https://www.meteored.mx/noticias/actualidad/ecatepec-lluvia-edomex-septiembre-2021.html>

INFOBAE. (2021). “*En Fotos: Las trágicas escenas que dejaron las inundaciones en Ecatepec, Estado de México*”. Recuperado de: <https://www.infobae.com/america/mexico/2021/09/07/en-fotos-las-tragicas-escenas-que-dejaron-las-inundaciones-en-ecatepec-estado-de-mexico/>

Keller, E. y Blodgett, R. (2004). “*Riesgos Naturales*”, Madrid, España: Person Education. Recuperado de: (https://www.academia.edu/35731399/RIESGOS_NATURALES)2

Significados. (2021) “*Inundaciones*” Recuperado de: <https://www.significados.com/inundaciones/>

Equipo Editorial. (2021). “*Desastres Naturales*”. Recuperado de: <https://concepto.de/desastres-naturales/>

Olín Fabela, L. (2017) “*Vulnerabilidad social por inundaciones*” (Tesis de Maestro en Ciencias Ambientales) Facultad de Química de la Universidad Nacional del Estado de México. Recuperado de: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/79908/Olin%20fabela%20Luis%20Alberto.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Alfie-Cohen, M. y Castillo-Oropeza, O. A. (2018). “*Con el agua al cuello*”. *Riesgo por inundación, vulnerabilidad socio ambiental y gobernanza en el municipio de Cuautitlán*. Quivera, 2016-2, 55-84. Recuperado de: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/67156/04%20Con%20el%20agua%20al%20cuello.pdf;sequence=1>

Secretaria de ambiente y desarrollo sustentable (2015). “*Consideración para la gestión del riesgo urbano desde el sector salud*”. DeTitto, E. y Benitez, M. (Recomendaciones para la gestión 1 Ed). “*Inundaciones urbanas y cambio climático*” (pp 110 – 114). Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Recuperado de: https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2016/03/inundaciones_urbanas_y_cambio_climatico.pdf

Gobierno del Estado de México. (2009). "Ecatepec de Morelos, México". Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15033.pdf

MunicipiosMX. (2021). "Ecatepec de Morelos". Recuperado de: <https://www.municipios.mx/mexico/ecatepec-de-morelos/>

Rodríguez, S. (2017) "*La Ciudad de México, entre la inundación y la escasez*". (Artículo). Animal Político. México. Recuperado de: <https://www.animalpolitico.com/sin-competitividad-no-hay-paraiso/la-ciudad-mexico-la-inundacion-la-escasez/>

Rodríguez, H. (2012) "*Inundaciones en zonas urbanas medias preventivas y correctivas, acciones estructurales y no estructurales*" (Tesis de maestría). Facultad de Ingeniería campus Morelos, Universidad Nacional Autónoma de México, Cuernavaca, Morelos. Recuperado de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5281/Tesis.pdf?sequence=1>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2021) "*Retos ante la problemática de inundaciones en las ciudades*". Recuperado de: <https://www.gob.mx/imta/es/articulos/retos-ante-la-problematika-de-inundaciones-en-las-ciudades?idiom=es>

Rodríguez Varela J. M., Maldonado Silvestre J. Albornoz Góngora P. M., Alcocer Yamanaka V. H. (2012). "*PROBLEMÁTICA DE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN DESDE UN ENFOQUE MATEMÁTICO*". Jiutepec: IMTA. Recuperado de: <https://www.imta.gob.mx/images/pdf/articulos/MAPAS-DE-RIESGO-EN-ZONAS-URBANAS.pdf>

Tardivo R., Graciani S., Canoba C. (2008). "Procesamiento Digital de Información Territorial", UNRL Virtual. Recuperado de: <http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASH5913.dir/doc.pdf>

Weather Spark, (2021). "*El clima y el tiempo promedio de todo el año en Ecatepec*". Recuperado de: <https://es.weatherspark.com/y/5664/Clima-promedio-en-Ecatepec-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o#Figures-Rainfall>

Pickup, M.; McDougall, K.; Whelan, R.J., 2003. "*Fire and flood: Soil-stored seed bank and germination ecology in the endangered Carrington Falls Grevillea, Austral Ecology*". Recuperado de: <http://www.floodup.ub.edu/el-impacto-de-las-inundaciones/>

Olaya, Víctor (2014). “Sistemas de Información Geográfica”. En línea. Recuperado de: http://marina.geologia.uson.mx/academicos/alba/Cartografia%20y%20SIG%20ICA/Bibliograf%C3%ADa/Libro_SIG.pdf

Esri (1969). “ ¿Que es un geodatabase?”. En Línea. Recuperado de: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/data/geodatabases/overview/what-is-a-geodatabase-.htm>

Kogut, Petro , (2022). “Análisis Espacial de datos: tipos, prácticas y usos”. Recuperado de: <https://eos.com/es/blog/analisis-espacial/>

INEGI. (2022). “Modelos Digitales de elevación”. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>

Axess, Network (febrero, 2021). “Las imágenes satelitales y sus aplicaciones en la vida cotidiana”. Recuperado de: <https://axessnet.com/las-imagenes-satelitales-y-sus-aplicaciones-en-la-vida-cotidiana/>

Datos utilizados.

Portal: <https://www.inegi.org.mx/datos/>

(Datos: Cartografía, Censo de población)

Portal: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

(Datos: Municipios, Colonias, Vías de Comunicación)

Portal: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

(Datos: Precipitación por zonas, temporada de lluvias, estadísticas climatológicas.)