



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN GEOGRAFÍA

DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA
VULNERABILIDAD SOCIOAMBIENTAL POR SEQUÍA METEOROLÓGICA EN LA
CUENCA EL MOLINO, MUNICIPIO DE HUICHAPAN, HGO.

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:
Vladimir Anaya Zamora

DIRECTOR(A) DE TESIS
Mtra. Oralia Oropeza Orozco
Instituto de Geografía, UNAM.

Ciudad Universitaria, CD.MX. Marzo. 2024.



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.

—¿Qué significa “domesticar”? —volvió a preguntar el principito.
—Es una cosa ya olvidada —dijo el zorro—, significa “crear vínculos...”

El principito (Antoine de Saint-Exupéry, 1943)

Índice

| | |
|---|----|
| Resumen..... | 1 |
| Introducción | 2 |
| CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO y CONCEPTUAL | 8 |
| 1.1 Componentes del Riesgo de Desastres..... | 9 |
| 1.1.1. RIESGO de Desastres | 9 |
| 1.1.2. AMENAZA | 11 |
| 1.1.3. Peligro | 12 |
| 1.1.4. Vulnerabilidad | 12 |
| 1.1.5. Exposición..... | 14 |
| 1.1.6. Desastre..... | 15 |
| 1.1.7. Gestión Integral de Riesgo de Desastre (GIRD) | 15 |
| 1.1.8. Territorio | 15 |
| 1.1.9. Ordenamiento Territorial | 16 |
| 1.1.10. Política pública | 19 |
| 1.1.11. Sequía | 20 |
| 1.1.12. Cuenca | 22 |
| 1.1.13. Geosistemas | 24 |
| CAPÍTULO 2. SEQUÍA: CARACTERÍSTICAS, CAUSAS E IMPACTOS EN EL CONTEXTO MEXICANO | 25 |
| 2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA SEQUÍA..... | 25 |
| 2.1.1. Características de la sequía | 25 |
| 2.1.2. Causas de la sequía | 26 |
| 2.1.3. Consecuencias de la sequía | 28 |
| 2.2 Gestión integral del riesgo en el contexto del fenómeno de la sequía..... | 32 |
| 2.2.1 La sequía como una amenaza natural y como un desastre de origen social | 32 |
| 2.2.2 El cambio de paradigma en la gestión del riesgo de desastres en el contexto internacional y su aplicación en México | 33 |
| 2.2.3 Sequía en México (Una revisión histórica)..... | 41 |
| 2.2.4 El fenómeno de la sequía en el municipio de Huichapan, Hgo. | 53 |
| CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN SOCIO - AMBIENTAL DE LA CUENCA “El Molino” | 56 |

| | |
|--|-----|
| 3.1 ¿Qué nos permite hacer una caracterización?..... | 56 |
| 3. 2 Localización del área de estudio: Aspectos ambientales y sociales..... | 57 |
| 3.2.1. Ubicación del área de estudio..... | 57 |
| 3.2.2 Relieve y topografía..... | 59 |
| 3.2.3 Hipsometría..... | 60 |
| 3.2.3 Pendiente del terreno | 63 |
| 3.2.4 Geología | 65 |
| 3.2.5 Geomorfología | 69 |
| 3.2.6 Clima e Hidrología | 77 |
| 3.2.7 Suelos | 87 |
| 3.2.8 Tipos de vegetación y usos de suelo | 92 |
| 3.2.9 Geosistemas | 97 |
| 3.2 Caracterización social..... | 101 |
| 3.2.2 Población..... | 101 |
| 3.2.3 Distribución de la población..... | 102 |
| 3.2.4 Población femenina y masculina dentro la cuenca para los años 2010 y 2020..... | 104 |
| 3.2.5 Población por edades..... | 105 |
| 3.2.6 Población por total de la cuenca de los años 1940 - 2020..... | 106 |
| 3.2.7 Población Económicamente Activa y Principales actividades económicas..... | 108 |
| 3.2.8 Infraestructura hídrica en viviendas | 111 |
| 3.2.9 Marginación | 112 |
| 3.2.10 Migración | 113 |
| CAPÍTULO 4. Aplicación y resultados de la metodología diseñada | 114 |
| 4.2 Obtención del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) | 115 |
| 4.2.1 Escalas temporales del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) | 116 |
| 4.2.2 INFORMACIÓN OBTENIDA..... | 117 |
| 4.3 Método de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) | 123 |
| 4.3.1 Definiendo el AHP | 123 |
| 4.3.2 Descripción de las variables empleadas en el modelo del AHP | 125 |
| 4.3.3 Identificación de la vulnerabilidad por geosistema | 130 |
| 4.3.4 Cálculo e integración de las variables ambientales al modelo AHP..... | 137 |
| Conclusiones y recomendaciones | 148 |
| Referencias..... | 152 |
| Anexo. | 169 |

Índice de figuras

| | |
|---|-----|
| Figura 1.1. Enfoque sistémico de una cuenca desde el análisis del riesgo de desastres. | 24 |
| Figura 2.1. Parámetros básicos de la sequía. | 26 |
| Figura 2.2. Impactos de la sequía en los ámbitos ambiental, social y económico; y su tipificación. 30 | |
| Figura 2.3. Objetivos del Desarrollo Sostenible. | 36 |
| Figura 2.4. Diagrama general del contenido de los PMPMS por cuenca. | 40 |
| Figura 2.6. Eventos de sequía registrados de 2003 a 2012, en México. | 51 |
| Figura 2.7. Porcentaje de área afectada por el evento de sequía registrados del 2003 -2020. | 52 |
| Figura 3.1. Localización de la cuenca El Molino. | 58 |
| Figura 3.2. Topografía de la cuenca El Molino. | 60 |
| Figura 3.3. Mapa hipsométrico de la cuenca El Molino. | 61 |
| Figura 3.4. Pendiente del terreno de la cuenca El Molino. | 64 |
| Figura 3.5. Geología de la cuenca El Molino. | 66 |
| Figura 3.6. Ubicación del Cinturón Volcánico Mexicano y las estructuras caldéricas..... | 67 |
| Figura 3.7. Bloque esquemático de la fisiografía de la caldera Huichapan..... | 67 |
| Figura 3.8. Geomorfológico de la cuenca El Molino. | 71 |
| Figura 3.9. Perfil morfológico de los valles en V. | 73 |
| Figura 3.10. Localización de los perfiles topográficos..... | 74 |
| Figura 3.11. Perfil topográfico A-A', cuenca El Molino. | 75 |
| Figura 3.12. Perfil topográfico B - B', cuenca El Molino..... | 75 |
| Figura 3.13. Perfil topográfico C - C', cuenca El Molino..... | 76 |
| Figura 3.14. Perfil topográfico D - D', cuenca El Molino. | 77 |
| Figura 3.15. Climas de la cuenca El Molino. | 78 |
| Figura 3.16. Climograma de la estación meteorológica “Huichapan”, 1981 - 2010. | 80 |
| Figura 3.17. Evaporación durante el periodo 2010 – 2017..... | 81 |
| Figura 3.18. Partes de una cuenca hidrográfica. | 82 |
| Figura 3.19. Microcuencas localizadas en la cuenca El Molino..... | 86 |
| Figura 3.20. Mapa de asociaciones de suelos en la cuenca El Molino..... | 88 |
| Figura 3.21. Tipos Vegetación y uso de suelo en la cuenca El Molino. | 93 |
| Figura 3.22. Tipos de geosistemas 98 | |
| Figura 3.23. Población por localidad en los años 2010 y 2020. | 103 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.24. Pirámide poblacional por edades quinquenales del año 2020. | 106 |
| Figura 3.25. Crecimiento poblacional de la cuenca en los años 1940 – 2020..... | 107 |
| Figura 3.25 Distribución del trabajo de la población económicamente ocupada en el año 2020.. | 110 |
| Figura 4.1 Diseño conceptual de la metodología para la identificación socioambiental ante la sequía meteorológica. | 114 |
| Figura 4.2 Cuadrícula (Grid) de referencia en grados para obtener los valores del SPI. | 118 |
| Figura 4.3 Valores promedio del SPI a 3 Meses con lluvias estacional. | 118 |
| Figura 4.4. Valores promedio del SPI a 6 Meses. | 120 |
| Figura 4.5. Valores promedio del SPI a 12 Meses. | 122 |
| Figura 4.7. Elaboración de la estructura jerárquica | 124 |
| Figura 4.8. Elaboración de la estructura jerárquica aplicada a la identificación de la vulnerabilidad de los geosistemas. | 125 |
| Figura 4.9. Vulnerabilidad intrínseca por precipitación pluvial..... | 132 |
| Figura 4.10. Mapa de vulnerabilidad intrínseca por déficit de infiltración. | 133 |
| Figura 4.11. Mapa de vulnerabilidad intrínseca por permeabilidad geológica..... | 134 |
| Figura 4.12. Mapa de vulnerabilidad por escorrentía..... | 135 |
| Figura 4.13. Mapa de vulnerabilidad por NDVI..... | 136 |
| Figura 4.14. Vulnerabilidad por tipo de geosistemas ante la sequía meteorológica. | 145 |
| Figura 1 Anexo. Curvas Hipsométricas adimensionales, características del ciclo de erosión (según Strahler). Fuente: Gaspari <i>et al</i> , 2013. | 172 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1.1 Definiciones propuestas por autores e instituciones en el tema de OT. | 18 |
| Tabla 2.1. Porcentajes de sequías en el país durante el México antiguo..... | 41 |
| Tabla 2.2. Sequía, seca, escasez de lluvia, calamidades, etc. en el estado de Hidalgo, 1333 – 1809. | 43 |
| Tabla 2.3. Estados en México que presentaron el fenómeno de la sequía durante los años de 1822 – 1900..... | 47 |
| Tabla 2.4. Sequía e inundaciones en el estado de Hidalgo, 1843 – 1897. | 48 |
| Tabla 2.5. Categorización de las sequías ocurridas en el periodo de 1948 a 1996..... | 49 |
| Tabla 2.6. Categorización de las sequías en el municipio de Huichapan, Hgo, en los años 2003 a 2020..... | 54 |
| Tabla 3.1. Clasificación de las pendientes en la cuenca El Molino..... | 64 |
| Tabla 3.2. Niveles de jerarquización de las geoformas. Fuente: Serrato Álvarez (2009)..... | 70 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 3.3. Temperatura y precipitación de la estación meteorológica “Huichapan”, 1981 – 2010 | 79 |
| Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2019)..... | 79 |
| Tabla 3.4. Temperatura y precipitación media anual de la estación meteorológica “Huichapan”, 2010 – 2017 | 80 |
| Tabla 3.5. Resultado de los parámetros morfológicos de la cuenca El Molino..... | 84 |
| Tabla 3.6. Asociaciones de suelos por superficie en Km ² y por porcentaje de superficie. | 88 |
| Tabla 3.7. Usos de suelo y vegetación. | 97 |
| Tabla 3.8. Diferenciación de los geosistemas de la cuenca El Molino. | 99 |
| Tabla 3.9. Población por localidad en el año 2010 y 2020..... | 103 |
| Tabla 3.10. Población femenina y masculina por localidad en el año 2010. | 104 |
| Tabla 3.11. Población femenina y masculina por localidad en el año 2020. | 105 |
| Tabla 3.12. Población por localidad en los años 1940 – 2020. | 108 |
| Tabla 3.13. Población Económicamente Activa por localidad en el año 2020..... | 109 |
| Tabla 3.14. Infraestructura hídrica en las viviendas por localidad..... | 111 |
| Tabla 3.15 Grado de marginación por localidad. | 112 |
| Tabla 3.16 Principales causas de migración en los municipios. | 113 |
| Tabla 4.1 Valores del Índice de Precipitación Estandarizado..... | 116 |
| Tabla 4.2. Clasificación de la sequía en escala trimestral para los meses de junio – agosto..... | 119 |
| Tabla 4.3. Clasificación de la sequía propuesta por el Monitor de Sequía en México..... | 119 |
| Tabla 4.4. Clasificación de la sequía en escala semestral para los meses de enero – junio y julio – agosto..... | 121 |
| Tabla 4.5. Clasificación de la sequía en escala anual de los años 1980 – 2019 | 122 |
| Tabla 4.6. Categorización de la vulnerabilidad por tipo de geosistema. | 130 |
| Tabla 4.7. Categorías de la vulnerabilidad por tipo de geosistema. | 131 |
| Tabla 4.8. Matriz de comparación pareada para la variable de precipitación..... | 138 |
| Tabla 4.9. Escala de valoración numérica propuesta por Saaty (1980). | 138 |
| Tabla 4.10. Matriz normalizada con los pesos por tipo de geosistema para la variable de precipitación..... | 139 |
| Tabla 4.11. Matriz de consistencia para la variable de precipitación. | 139 |
| Tabla 4.12. Valores de índice aleatorio para matrices cuadradas. | 140 |
| Tabla 4.13. Pesos de las diferentes variables del componente ambiental por tipo de geosistemas. | 140 |
| Tabla 4.14. Matriz de comparación pareada de las variables del componente abiótico. | 141 |
| Tabla 4.15. Matriz normalizada con los pesos de las variables del componente abiótico. | 141 |
| Tabla 4.16. Matriz de consistencia para las variables del tercer nivel..... | 141 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 4.17. Matriz de para la obtención de pesos del segundo nivel | 142 |
| Tabla 4.18. Matriz de pesos por tipo de geosistema de las variables del medio abiótico..... | 142 |
| Tabla 4.19. Matriz de pesos por tipo de geosistema de las variables del tercer nivel..... | 143 |
| Tabla 4.20. Matriz de pesos por tipo de geosistema de las variables del segundo nivel..... | 143 |
| Tabla 4.21. Pesos por tipo de geosistema del componente ambiental (primer nivel). | 144 |
| Tabla 4.22. Clasificación base 100 por tipo de geosistema..... | 144 |
| Tabla 4.23. Categorías de la vulnerabilidad ambiental por tipo de geosistema. | 144 |
| Tabla 1 Anexo. Formas de la cuenca de acuerdo con el factor de compacidad. | 170 |
| Tabla 2 Anexo. Formas de la cuenca de acuerdo con el factor de forma de Horton..... | 170 |
| Tabla 3 Anexo. Categorías del coeficiente de masividad. | 171 |
| Tabla 4. Anexo. Formas del terreno considerando la pendiente media de la cuenca. | 172 |

Resumen

Este trabajo propone la elaboración de una metodología para la identificación de la vulnerabilidad ante el fenómeno de la sequía meteorológica tomando como unidad de análisis territorial a los geosistemas en la cuenca denominada El Molino, ubicada en el municipio de Huichapan, Hidalgo. Esto, tomando en consideración que por las condiciones geográficas del territorio el área es propensa a la ocurrencia de los fenómenos de sequía meteorológica la cual es considerada como una amenaza, que conjugado con la dinámica socioeconómica ha originado que la población sobreexplota el recurso hídrico por medio de los acuíferos.

Si bien se han desarrollado herramientas no estructurales como lo son los planes de ordenamiento ecológico, los programas de desarrollo municipal, etc. con la finalidad de prevenir y mitigar los efectos de la sequía meteorológica en ciertos sectores que integran la cuenca, estas no se han logrado implementar debido a una falta de caracterización de la amenaza, así como la falta de un contexto en el que se desarrolla el sistema socioambiental.

Tomando en consideración lo anterior, los objetivos de este trabajo están orientados a diseñar un procedimiento metodológico para la caracterización y diagnóstico del área de estudio con la finalidad de identificar la vulnerabilidad socioambiental, para así generar cartografía con los geosistemas vulnerables que permitan ser una guía para el desarrollo de propuestas que incidan en la elaboración de las políticas públicas.

La implementación de esta metodología permitió, además, identificar otros geosistemas que son vulnerables, poniendo en evidencia que los geosistemas de agricultura de temporal y anual no son los únicos vulnerables como se ha venido mencionando en los programas de desarrollo municipal.

La identificación de la vulnerabilidad de los geosistemas favorece el desarrollo de algunas recomendaciones que no solo están orientadas al sistema agrario; esto como un paso hacia la elaboración y aplicación de políticas públicas que contribuyan en el ejercicio de la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (GIRD) y de la planeación territorial.

Introducción

La sequía es considerada como un fenómeno climático complejo y poco comprendido, por lo que este término tiene diversas definiciones que tratan de dar una explicación en función al tipo de consecuencias que se originan a partir de la sequía meteorológica, originando así una gran variedad de términos cuya clasificación está dada dependiendo de la disciplina científica con que se estudie el fenómeno, por ejemplo: sequía hidrológica, sequía agrícola, sequía urbana, sequía económica, etc.

En este contexto, resulta difícil asignar una definición que trate de englobar todas las características y consecuencias que se originan a partir de un déficit de precipitación en un periodo prolongado el cual inclusive, puede llegar a durar varias temporadas. Este déficit de agua ocasiona una escasez del recurso hídrico para los ecosistemas, grupos o sectores sociales, así como para los sectores productivos; y la cual suele estar asociada a otros factores climáticos como son las altas temperaturas, los vientos, la baja humedad relativa, etc. (Hernández *et al.* 2007).

Son muchos los factores que dan origen al fenómeno de la sequía, mismos que a la fecha no se conocen con precisión; sin embargo, de forma general se pueden dividir en dos grupos; en el primer grupo se encuentran aquellos factores de origen natural como son los cambios en los patrones de circulación de la atmósfera, cambios en la actividad solar y el fenómeno de El NIÑO; en el segundo grupo se encuentran los factores de origen antropogénico, los cuales incluyen la quema de combustibles fósiles, la degradación ambiental y la alteración de los ecosistemas ecológicos naturales (Magaña y Gay, 2002).

Debido a que la sequía es un fenómeno que ha resultado difícil de comprender dada la complejidad de elementos que interactúan y las múltiples definiciones que se le han otorgado; ésta es más conocida por los efectos que produce en un cierto periodo, cuya duración puede ser variable (días, meses o años), ya que los impactos originados por el déficit de precipitación y la escasez del recurso hídrico son similares en cualquier región del mundo (Hernández *et al.* 2007).

En este aspecto, los efectos producidos por este fenómeno llegan a impactar diversos sectores en términos económicos y sociales; así mismo, y tomando en consideración la crisis ambiental, se está reconociendo la importancia de estos impactos a nivel medioambiental. Ya que el aprovechamiento de los servicios ecosistémicos ha estimulado el impulso en varias regiones para desarrollar diversas actividades socioeconómicas; de tal forma que los impactos de origen natural o antropogénico que afecten dichos servicios repercuten de forma directa o indirecta en las actividades socioeconómicas.

Por tanto, la sequía es una amenaza natural de inicio lento y progresivo que constituye una parte inherente del clima en las diversas regiones del mundo; por lo

que la gravedad del impacto no solo dependerá de la duración, la intensidad o la extensión espacial de un evento de sequía; sino también estará influenciada por las demandas que las actividades humanas y la vegetación imponen en el abastecimiento de agua de una región concreta. De manera que, los efectos de este fenómeno son no estructurales y suele llegarse a extender por regiones geográficas, ampliando así los daños en contraste con otros peligros naturales.

El riesgo a la sequía es producto de la exposición de una región ante la amenaza natural, así como también de la vulnerabilidad a periodos prolongados de escasez de agua; en este sentido, la vulnerabilidad está en función al grado de desarrollo social y económico, así como del grado de conservación de los recursos naturales y de los servicios que estos proveen a la sociedad (Velasco *et al.* 2005)

Así mismo, en el área de estudio de la cuenca El Molino, el cambio en la cobertura vegetal reduce la recarga e incrementa la extracción de agua subterránea debido a la creciente demanda en la región para satisfacer las necesidades básicas de los habitantes e impulsar la economía. Lo anterior se engloba en una problemática de escasez de agua, asociada a la sequía; debido a que el acuífero Huichapan-Tecoautla se encuentra ubicado en la región denominada Valle del Mezquital, la cual presenta una gradación de climas que va desde climas secos (1 800 m.s.n.m) hasta climas semifríos (arriba de los 2,000 m.s.n.m), y cuyo clima predominante es el semiárido, lo que ocasiona que el agua que se precipita se evapore reduciendo el escurrimiento y la infiltración.

Considerando que la precipitación es el componente principal para el funcionamiento de las cuencas hidrográficas, así como para la recarga de cuerpos de agua superficial y de aguas subterráneas por medio de la infiltración; el agua es valorada como el principal recurso para el desarrollo socioeconómico de una región. Los pueblos asentados en el Valle del Mezquital entre los que se destacan los del municipio de Huichapan datan del siglo XVI, han aprovechado manantiales y obras de infraestructura como son jagüeyes o bordos de agua para impulsar su desarrollo (Rodarte García *et al.*, 2012).

Sin embargo, a partir del siglo XX el fomento en la modernización de los sistemas de abasto y la centralización de instituciones enfocadas en el manejo y construcción de obras para el abastecimiento de agua potable, permitió la creación de políticas públicas para otorgar concesiones de aprovechamiento en cuerpos de agua superficiales y subterráneas, que son estas concesiones las que fueron provocando la sobreexplotación intensiva del agua, superando así el volumen de la recarga natural en cuerpos de agua y en acuíferos (Rodarte García *et al.*, 2012).

La problemática descrita anteriormente se llega a intensificar debido a que, durante el periodo del 2019, de los 84 municipios pertenecientes al estado de Hidalgo, 72 presentaron alguna condición de sequía en la entidad (incluyendo el municipio de Huichapan), esto corresponde al 86% de los municipios; por lo que, de acuerdo con

el Monitor de Sequía en México (MSM) según lo reportado por CONAGUA, está condición se extendió hasta inicios del año 2020 (CONAGUA, 2020).

Se ha reportado que entre los años 2020 y 2021, 43 municipios del estado de Hidalgo tuvieron sequía severa, entre los cuales se destaca el municipio de Huichapan¹, esto ha ocasionado que los cuerpos de agua ubicados en la región de estudio como son las presas y jagüeyes estuvieran por debajo de los niveles históricos normales o se secan²; lo anterior como consecuencia en la disminución de la precipitación (20% menos del promedio histórico), según lo reportado por la CONAGUA³. En este contexto, las principales problemáticas que se originan debido al fenómeno de la sequía se encuentran focalizadas principalmente en dos sectores (agropecuario y social) en términos de accesibilidad al recurso hídrico⁴.

Justificación

Considerado lo expuesto, junto con las condiciones geográficas intrínsecas dentro del territorio y en consonancia con la dinámica socioeconómica, ha originado que la población busque otras fuentes para la obtención del recurso hídrico, ocasionando así la sobreexplotación de acuíferos en las diversas formas de abastecimiento, generando nuevas amenazas.

Ante esta situación, se han desarrollado herramientas no estructurales como lo son los planes y programas a nivel regional y local, con la finalidad de mitigar y prevenir los efectos ocasionados por la sequía; sin embargo, las fuentes consultadas indican que al menos para el sector agropecuario y en algunas localidades de la región, el fenómeno de la sequía ha causado algunos efectos como son pérdidas de cosecha, desarrollo inadecuado del ganado, así como la poca accesibilidad y distribución del agua en algunas localidades; lo anterior se ha venido desencadenando aun con la existencia de dichas herramientas no estructurales.

En virtud de lo anterior y con la finalidad de abordar el fenómeno de la sequía en el municipio de Huichapan, Hidalgo; se decidió utilizar como unidad de análisis la microcuenca “El Molino”. Esta microcuenca se encuentra ubicada dentro del acuífero Huichapan-Tecoautla, el cual pertenece a la región hidrológica del Pánuco; y que, de acuerdo con la actualización del informe acerca de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero, publicado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en el 2020 (p.5), menciona que: *Nadie podrá establecer alumbramientos de aguas de subsuelo dentro de la zona vedada sin previo permiso por escrito de la Autoridad del Agua... Excepto cuando se trate de alumbramiento para usos domésticos.*

¹ Quintana, A. (2021). Municipios con reporte de sequía. *La crónica de Hidalgo*.

² Montoya, R. (2021). Hidalgo: afecta sequía a 20 de 84 municipios. *La jornada*.

³ Reyes, A. (2021). Hay ocho presas sin agua por la sequía, Lluvias se incrementarán hasta junio: CONAGUA. *Milenio*.

⁴ Galván Tovar, Ma. L. (2017). *Criterio (2019) y Circulo am (2021)*.

Esto debido a que en el Diario Oficial de la Federación publicado el 6 de octubre del 2015, el acuífero está declarado en veda por tiempo indefinido y en el cual se menciona: *Está prohibido la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, y el incremento de volúmenes autorizados o registrados...*

Relacionado con lo anteriormente citado, este trabajo busca identificar la vulnerabilidad en más sectores socioambientales que integran la microcuenca “El Molino”, tomando en consideración la exposición de dichos sectores al fenómeno de la sequía. Finalmente, al ser pocos los documentos bibliográficos y hemerográficos que describan las problemáticas asociadas a la sequía en el municipio de Huichapan, Hidalgo; este trabajo también tiene como propósito contribuir en la aportación de una metodología que permita identificar otros sectores ya sean sociales o ambientales que sean vulnerables a la sequía, esto con la finalidad de que puedan generarse propuestas que incidan en la elaboración de políticas públicas para que puedan ser consideradas en términos de la planeación territorial y la gestión integral del riesgo de desastre (GIRD).

A partir de lo anterior se establecen las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Los geosistemas agrícolas son las únicas unidades territoriales afectadas por el fenómeno de la sequía meteorológica?
- ¿El Programa Municipal de Desarrollo, el ordenamiento ecológico y otros instrumentos de planeación territorial toman en consideración la GIRD en su política de planeación?
- ¿Cuál es la tendencia de la sequía tomando en consideración el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)?

Por lo que los objetivos de este trabajo son:

Objetivo General

- Diseñar una metodología para la identificación de la vulnerabilidad por sequía meteorológica en la microcuenca “El Molino”, en el municipio de Huichapan, Hgo.

Objetivos particulares

- Realizar una caracterización y diagnóstico en el área de estudio.
- Diseñar una metodología para identificar la vulnerabilidad social y ambiental por sequía meteorológica.
- Generar cartografía de vulnerabilidad.

- Desarrollar propuestas que incidan en la elaboración de políticas públicas vinculadas con los objetivos de desarrollo sostenible 2030.

Para llevar a cabo este trabajo se propone como hipótesis de investigación que al no tomarse en cuenta la Gestión Integral del Riesgo de Desastre en los instrumentos de planeación territorial a nivel local como lo son los Programas de Desarrollo Urbano y el Ordenamiento Ecológico, resulte en la inexistencia de políticas públicas que aborden adecuadamente el fenómeno de la sequía como una amenaza de origen natural y en consecuencia haya una ausencia de estrategias derivadas de estas políticas públicas; lo que ha ocasionado que en el territorio, algunos sectores socioeconómicos (p.ej. el agrario) y el sector ambiental resulten perjudicados y así mismo, que no sean los únicos sectores afectados.

Antecedentes

Para la elaboración de este trabajo se consideraron algunos antecedentes que ejemplifican la relación que hay entre la planeación territorial a nivel municipal y la Gestión Integral de Riesgo de Desastres (GIRD) vinculado a la elaboración de políticas públicas que sirvan como impulso al conocimiento científico y tradicional de los fenómenos hidrometeorológicos como es el caso de la sequía.

- Rosete *et al.* (2012) mencionan la importancia de la incorporación en los instrumentos de planeación territorial; por ejemplo, el Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET) en las etapas de diagnóstico, pronóstico y programas resultantes, el análisis de riesgos ante los diferentes peligros existentes en donde se incluya la identificación del nivel de vulnerabilidad de la población que habita en el territorio. Esto con el objetivo de que sea un instrumento de prevención, adaptación y disminución del riesgo que sea ocasionado por fenómenos hidrometeorológicos que pudieran estar asociados al cambio climático. Hace referencia a que no hay una metodología que sea homogénea que incorpore las zonas susceptibles a ser afectadas por fenómenos naturales, ni de análisis de riesgo que incluya la vulnerabilidad de la sociedad frente a las probables amenazas; así como la elaboración de planes de mitigación hacia los peligros que se identifiquen.
- Rodríguez Otero (En Sánchez Salazar *et al.*, 2013) Señala que los instrumentos de planeación territorial han estado en un constante cambio al revalorizar sus cualidades, teniendo como objetivos la distribución espacial de las actividades económicas, el cambio en el uso de la tierra, el desarrollo del sistema de asentamientos humanos, la elevación de la calidad de vida de la población así como el uso racional de los recursos naturales y, el mejoramiento de la calidad del medio ambiente; teniendo como finalidad la disminución de la vulnerabilidad ante las amenazas naturales y antrópicas.

Esto debido a que el territorio es considerado como el soporte de todas las actividades humanas; por lo cual, es motivo de conflictos en cuyas principales causas se encuentran: escasez de suelo, competencias de distintos usos sobre un mismo espacio y la sobre explotación de los recursos naturales.

- Calderón y Frey (2017) realizaron un análisis acerca del ordenamiento territorial para que se emplee como herramienta en la gestión del riesgo de desastre en Colombia, y que se convierta en una línea de acción fundamental que permita continuar con el desarrollo territorial por medio de la transformación y ocupación del espacio, contemplando la conservación y la sostenibilidad de los ecosistemas que sustentan el equilibrio entre la relación naturaleza – sociedad. Así mismo, señala un nuevo enfoque del riesgo tomando en cuenta la relación social y biofísica en múltiples escalas de tiempo y espacio; por lo que, el riesgo empieza a ser analizado como producto de diversos procesos sociales en donde la vulnerabilidad es una pieza esencial en el análisis de riesgos.
- Alcántara Ayala *et al.* (2019). Enfatizan que la carencia de una política pública fundamentada en el conocimiento científico y tradicional orientada a la planeación territorial en el marco de la GIRD se expresa intrínsecamente en los riesgos llegándose a manifestar en la ocurrencia de desastres. Por consiguiente, mencionan que la GIRD debe entenderse como un proceso complejo y sistemático que engloba decisiones, acciones y actividades que involucren de forma transversal los diferentes actores institucionales y sociales con la finalidad de reducir vulnerabilidades por medio de diagnósticos, leyes, programas, etc. en las que se privilegie el mejoramiento de la calidad de vida de la población, el desarrollo integral, los derechos humanos y la perspectiva de género.
- Baró Suárez *et al.* (2019). Señalan que en México el principal problema en los Programas de ordenamiento Ecológico del Territorio (POET) es la falta de gestión debido a que los recursos otorgados en esta práctica se destinan poco para la gestión ya que, en esta parte, la sistematización de la información, actualización e instrumentación, en coordinación con la sociedad civil, es un proceso continuo en la que el presupuesto es escaso. Por lo que su trabajo propone la integración de acciones y estrategias en la GIRD para la instrumentación en los territorios que conforman escenarios de riesgo; lo anterior, con el objetivo de definir estrategias de política pública encaminada a la gestión preventiva y prospectiva de los diferentes escenarios de riesgo que se materializan en el territorio.

- La Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), en 2019, publicó una guía metodológica dirigida a gobiernos municipales para la consolidación de estrategias a escala municipal para prepararse ante los fenómenos naturales. Lo anterior surge como una acción ante los acuerdos internacionales en los que México está suscrito; por esta razón, el rol de los gobiernos municipales en materia de la GIRD es clave debido a la estrecha vinculación con la gestión del uso de suelo, la planificación urbana, la protección de los servicios básicos, así como la preparación del personal municipal y de la población ante los escenarios de desastres.
- Trejo Albuerne (2021) en su trabajo titulado “Planificación para el desarrollo de unidades territoriales de riesgo: Chetumal”, toma al territorio como un sistema complejo espacial, el cual puede ser explorado, descrito, comprendido y explicado con la finalidad de analizar tendencias de patrones espaciales específicos; por tanto, su trabajo pretende abordar el territorio como un sistema complejo y desde la perspectiva de los geosistemas. Los geosistemas para este trabajo son contemplados como Unidades Territoriales de Riesgo (UTR), orientados como entidades complejas (riesgo) en la que se encuentran integradas componentes como: peligro, vulnerabilidad y exposición; lo anterior es una aproximación al entendimiento del origen, funcionamiento y regulación de un geosistema. De este documento se deriva que, dentro de la planeación territorial, específicamente en los ordenamientos territoriales, la gestión territorial y la gestión integral del riesgo de desastres se encuentran desarticuladas entre sí o inclusive están ausentes dentro de los sistemas de planificación.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO y CONCEPTUAL

Este apartado tiene como finalidad presentar los referentes teóricos que fundamentan esta investigación dentro del contexto del análisis de riesgo en la planeación territorial, enfocados primordialmente en los riesgos hidrometeorológicos como es el caso de la sequía. Se definen los conceptos centrales que la sustentan comenzando por cómo es entendido el riesgo y su evolución en la forma de comprenderlo, los elementos que lo componen como lo son la amenaza, la vulnerabilidad y la exposición; así mismo, también se define la Gestión Integral de Riesgo de Desastres (GIRD), territorio, cuenca, sistema complejo, geosistemas, ordenamiento territorial y política pública.

Si bien muchos de estos conceptos son de carácter polisémico, lo que se pretende en este proyecto es retomar aquellos que son trabajados en la planeación territorial desde el enfoque de la gestión integral del riesgo de desastres.

1.1 Componentes del Riesgo de Desastres

1.1.1. RIESGO de Desastres

Olcina Cantos (2008) menciona que el concepto de riesgo está vinculado con el espacio geográfico desde la edad moderna a partir de las expediciones por parte de los aventureros occidentales hacia el Nuevo Mundo; de ahí se trasladó al mundo financiero para considerar las consecuencias por medio del cálculo de las posibles inversiones por parte de prestamistas. Así mismo, menciona que el término de riesgo se ha conceptualizado en la suposición de una idea de incertidumbre, relacionado con la indagación a lo desconocido reconociendo las consecuencias que ello conlleva; se toma en cuenta que la incertidumbre considera variables físicas como la posición y el momento de un fenómeno, que al no poder calcularse simultáneamente con exactitud este tendrá fluctuaciones al momento de realizar dichos cálculos; por lo que estas fluctuaciones son las que reflejan la incertidumbre en torno a la posición y el momento. Así pues, tenemos que el riesgo está basado en calcular probabilidades.

En este sentido, el término de riesgo es definido como *“la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas; y el cual está compuesto por dos elementos que son la amenaza y la vulnerabilidad”* (UNISDR, 2009).

Para la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) el riesgo es la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas tales como: muertes, lesiones, propiedad, medios de vida, interrupción de la actividad económica o deterioro ambiental; esto como el resultado de las interacciones entre las amenazas naturales o antropogénicas y las condiciones de vulnerabilidad (FAO, 2009).

De acuerdo con la Red de estudios sociales en la prevención de desastres en América Latina (LA RED) diversos autores⁵ que definen el concepto de riesgo comparten características en común, dentro de las cuales podemos mencionar que es una probabilidad de sufrir un daño o pérdida ante un evento sea físico o de carácter antropogénico en un determinado tiempo, que está asociado al espacio

⁵ Wilches-Chaux. G. La vulnerabilidad Global (en Maskrey, 1993). El riesgo es cualquier fenómeno de origen natural o humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a ese fenómeno. Así mismo, en el apartado de anexos, cita a autores como Frederick (1983), Cooper (1985), Oliver y Aysan (1987); que definen al riesgo como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno en una determinada zona que ocasione consecuencias sociales, económicas, técnicas, etc.

Cardona A. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo (en Maskrey, 1993). Toma el concepto de riesgo a partir de las definiciones propuestas por la UNDRO (1979) en donde el riesgo es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como la función de la amenaza y la vulnerabilidad; y Spence (1990) que define al riesgo como el daño, destrucción o pérdida esperada a partir de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas, expresado matemáticamente como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en un cierto sitio y en un periodo de tiempo.

físico donde se desarrollan diversas actividades y que está relacionado por diversos factores como: culturales, políticos, históricos, socioeconómicos y ambientales. Es por lo anterior lo que le confiere el carácter dinámico (en Maskrey, 1993).

Tomando en cuenta lo anterior, en donde se hace énfasis ante un evento físico o antropogénico, Olcina Cantos (2008) refiere que el estudio del riesgo comienza en la geografía por que conjuga tres componentes (el ser humano, la naturaleza y el espacio geográfico) cuyas relaciones son esenciales para el funcionamiento de las sociedades sobre el planeta. En este contexto, para aterrizar aún más el concepto de riesgo, Cardona (2001) señala que deben de estar implícitos tres aspectos (la eventualidad, las consecuencias y el contexto); el contexto (capacidad de gestión y actores relacionados), como lo menciona Cardona, determinará los límites, las razones, los propósitos y las interacciones al momento de realizar un análisis de riesgo.

Olcina Cantos (2008) señala que se han abordado dos posturas referentes al estudio de los riesgos las cuales son; el primero, relacionado con el naturalismo o providencialismo que atribuye el origen de los desastres naturales a lo divino y el segundo, está relacionado con el antropocentrismo, es decir, el hombre tiene un rol fundamental en el desarrollo de los desastres al llevar prácticas que no son compatibles con el medio en donde éste habita. Ambas posturas aún continúan vigentes.

En la década de 1980-1990, se hace énfasis en la relación que hay entre los riesgos naturales y el subdesarrollo económico, pues éste aumenta los efectos de los desastres. De esta forma, el concepto de riesgo de acuerdo con Chávez (2018) ha sido forjado bajo la lógica del capitalismo y ante un contexto dominante que es entendido por autores como White (1974), Varnes (1984), Cardona (1993), Aneas (2000) y Díaz (2004) con una connotación cuantitativa, que se puede resumir como la estimación de costos debido a las pérdidas esperadas por la ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por el hombre; por lo que, en cierta forma, es necesario expresarlo cuantitativamente para calcular el riesgo ante cualquier evento y así poder comparar un riesgo con otros que se presenten con características similares (Ize y Zuk, 2010).

En contraste con lo anterior tenemos a Wilches-Chaux (1993)⁶, Paulus (2004)⁷ y Briones (2005)⁸, quienes describen al riesgo no solo en términos cuantitativos, sino

⁶ Wilches-Chaux, G. La vulnerabilidad Global (en Maskrey, 1993). El autor se apoya de una ecuación que da como resultado al desastre a partir de dos factores: Riesgo y Vulnerabilidad, con esto la ecuación es: Desastre = Riesgo x Vulnerabilidad. Finalmente pone de manifiesto que el desastre también es producto de fenómenos sociales.

⁷ Paulus, N. (2004). Del concepto de riesgo: Conceptualización del riesgo en Luhmman y Beck. Hace referencia al concepto de "sociedad del riesgo" propuesta por U. Beck, en donde señala que la sociedad moderna es caracterizada por los efectos de los daños colaterales producto de una sociedad funcionalmente diferenciada en donde sus subsistemas se autonomizan, produciendo así un déficit estructural de racionalidad y pérdida de una visión global de los problemas que le afectan.

como un problema en donde el factor con mayor ponderación es el social debido a que recae en el individuo la forma en que toma las decisiones de manera racional ante un fenómeno (construcción social del riesgo). Por lo que finalmente el riesgo puede tener connotaciones cuantitativas como cualitativas.

1.1.2. AMENAZA

La Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR, por sus siglas en inglés) define la amenaza como “*Un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales*” y estas pueden ser de origen geológico, meteorológico, hidrológico, oceánico, biológico y tecnológico, que algunas veces actúan de forma combinada (UNISDR, 2009: pag.5).

La amenaza de origen hidrometeorológica es definida por la UNISDR como “*Un proceso o fenómeno de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales*”. Este tipo de amenazas pueden actuar como desencadenantes que propicien otras amenazas, por ejemplo: Incendios forestales, epidemias, plagas, etc. (UNISDR, 2009: pág. 7).

Para diversos autores como Wilches-Chaux (en Maskrey, 1993)⁹, Cardona (en Maskrey, 1993)¹⁰, Rojas y Martínez (2011)¹¹; la amenaza es una probabilidad de ocurrencia de algún fenómeno de origen natural o antrópico que se presenta en un sitio específico en un tiempo determinado y el cual puede o no producir efectos en una comunidad, en algún bien material o al medio ambiente, por lo que para que la amenaza sea considerada como un factor de peligro, dependerá de la magnitud y ocurrencia.

⁸ Briones, G. La complejidad del riesgo: Breve análisis transversal. (2005). Considera que se deben de explorar posturas teóricas para evitar determinismos en la noción del riesgo; debido a que éste es consecuencia de una decisión racional, en este sentido, el riesgo no solo depende del cálculo de probabilidades, sino también de contexto social y cultural.

⁹ Es la probabilidad de que ocurra un riesgo frente a la cual una comunidad es vulnerable.

¹⁰ Definido como un factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, representado por un fenómeno físico de origen natural, antrópico o tecnológico; que puede presentarse en un sitio específico en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en las personas, bienes y/o medio ambiente; el cual es expresado matemáticamente como una probabilidad.

¹¹ Recupera la definición realizada por Lavell (2001) quien define la amenaza como “La posibilidad de ocurrencia de un evento físico que puede causar algún tipo de daño a la sociedad” y añade que no todo fenómeno natural es peligroso, si no que esto dependerá de su magnitud y ocurrencia.

1.1.3. Peligro

Este concepto no se encuentra dentro de la terminología de UNISDR y para diversos autores¹² es considerado como un sinónimo de amenaza; sin embargo, para el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)¹³, Ize y Zuk (2010) y Reyes *et al.* (2017), el peligro es referido como el potencial de cualquier fenómeno sea de origen natural o antrópico que pudiera generar en un sistema, dependiendo de la magnitud expresada como el tamaño del fenómeno, potencial destructivo y de la energía que libera; así como de la intensidad, la cual es una medida de la fuerza con que se manifiesta el fenómeno en un determinado sitio.

1.1.4. Vulnerabilidad

El concepto de vulnerabilidad es amplio y polisémico debido a su vasto campo de aplicación por parte de las diversas disciplinas como lo son la sociología, la antropología, la ecología, la geociencia y la ingeniería; por lo que su definición parte de elementos diferentes como son: riesgo, estrés, susceptibilidad, adaptación, resiliencia (elasticidad), sensibilidad, etc. Así, el concepto de vulnerabilidad se convierte en un objeto de estudio complejo abordado desde diversas variantes teóricas y epistemológicas (Ruíz, 2011).

Tomando en cuenta lo anterior, vamos a partir de una definición general sobre la vulnerabilidad de acuerdo con lo que menciona Wilches-Chaux (en Maskrey, 1993) al definir la vulnerabilidad global como un sistema dinámico, ya que la conjugación de diversos factores y características (intrínsecas y extrínsecas) convergen en una comunidad particular, esto da como resultado la incapacidad o bloqueo de la comunidad para responder adecuadamente ante la presencia de un riesgo determinado, llegando así al desastre. En este aspecto, la UNISDR (2009) define la vulnerabilidad como *“las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien, que los hace susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza”* (pp.34 - 35).

Los factores que pueden converger en una comunidad, sistema o bien, pueden ser físicos, sociales, económicos, ambientales; por lo que la vulnerabilidad según la

¹² Cardona (En Maskrey, 1995), Westen (s/f) y, Vilches y Reyes (2011) consideran que el peligro es sinónimo de amenaza; sin embargo, se hace la distinción cuando se considera al peligro como un fenómeno/evento de cualquier índole que pudiera generar un potencial de daño (amenaza).

¹³ En la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos elaborada por el CENAPRED (2006), en el apartado de la terminología se considera de igual forma como sinónimo a la amenaza y al peligro, sin embargo, se refiere al peligro como un evento que puede generar un daño dependiendo de la intensidad, el tiempo y el lugar.

UNISDR (2009) varía en espacio y tiempo. Son estos factores en los que Wilches-Chaux divide la vulnerabilidad global en diversas “vulnerabilidades” y que están estrechamente interconectadas (en Maskrey, 1993).

Así pues, algunas de estas vulnerabilidades definidas por Wilches-Chaux y Alwang *et al.* (2001) que se tomarán como referente para este trabajo son:

Vulnerabilidad Social: Es el nivel de cohesión interna que posee una comunidad; por lo que, si la relación de ésta solo se limita a la simple vecindad física en los cuales los propósitos, el sentido de pertenencia, el liderazgo, la organización social, etc. se encuentran ausentes, la vulnerabilidad social estará en aumento.

Vulnerabilidad Ecológica (ambiental): Está relacionada con la pérdida de la biodiversidad, así como la desnaturalización de los procesos que sostienen la vida. Los ecosistemas tienden a ser vulnerables a daños irreversibles en donde también están implícitos los modos de vida¹⁴ de los cuales dependen las comunidades como resultado de un cambio ambiental¹⁵.

Vulnerabilidad Económica: Es la insuficiencia de ingresos, estabilidad laboral, la dificultad o imposibilidad de tener acceso a los servicios de salud, educación, servicios básicos. Los ecosistemas tienden a ser vulnerables a daños irreversibles en donde también están implícitos los modos de vida¹⁶ de los cuales dependen las comunidades como resultado de un cambio ambiental¹⁷.

Podemos decir que la vulnerabilidad está ligada con el futuro, con esa probabilidad de experimentar una pérdida futura en relación con algún punto de referencia de bienestar causado por eventos inciertos, en donde el grado de vulnerabilidad

¹⁴ Para autores como Gonzales *et al.* (2014), Donohue y Biggs (2015) y Keshavarz *et al.* (2016), los modos de vida o medios de vida es considerado como un concepto que está dirigido a mejorar la comprensión acerca de las formas de subsistencia de las personas, mediante la evaluación de los diferentes factores, limitaciones y oportunidades que dan forma a las estrategias de subsistencia de las personas. Estos medios, están conformados por cinco capitales que son: Capital humano (mano de obra disponible para el hogar y la salud), físico (capital creado por los procesos de producción económica que incluyen la infraestructura en una comunidad), natural (los servicios ecosistémicos), financiero (capital económico a las que el hogar tiene acceso como lo son el ahorro, los créditos, etc.) y social (redes y conexiones formales e informales).

¹⁵ Vulnerability: A view from a different disciplines (Alwang *et al.*, 2001).

¹⁶ Para autores como Gonzales *et al.* (2014), Donohue y Biggs (2015) y Keshavarz *et al.* (2016), los modos de vida o medios de vida es considerado como un concepto que está dirigido a mejorar la comprensión acerca de las formas de subsistencia de las personas, mediante la evaluación de los diferentes factores, limitaciones y oportunidades que dan forma a las estrategias de subsistencia de las personas. Estos medios, están conformados por cinco capitales que son: Capital humano (mano de obra disponible para el hogar y la salud), físico (capital creado por los procesos de producción económica que incluyen la infraestructura en una comunidad), natural (los servicios ecosistémicos), financiero (capital económico a las que el hogar tiene acceso como lo son el ahorro, los créditos, etc.) y social (redes y conexiones formales e informales).

¹⁷ Vulnerability: A view from a different disciplines (Alwang *et al.*, 2001).

dependerá de las características del riesgo y de la capacidad de respuesta (Alwang *et al.*, 2001). Por lo que, dependiendo la unidad de análisis, éste puede definirse como vulnerable *ante*, cuando las acciones están ligadas a situaciones de estrés que cambian las condiciones de una unidad de análisis en un tiempo específico (amenaza) o, *a* cuando se está en una situación de pérdida (salud, ingresos, capacidades básicas) (Ruíz, 2011).

1.1.5. Exposición

Otro factor vinculado al riesgo es la *exposición*; dado que las amenazas de origen natural, al igual que los recursos naturales, son componentes que integran un territorio (sistema), que, al ser percibidos como eventos negativos, atraen la atención pública cuando comienzan a afectar a los sectores socioeconómicos y a los ecosistemas, en función a qué tan expuestos estén a la amenaza.

En este aspecto, Cardona (2001) define a la exposición como una condición de susceptibilidad que tienen los individuos o cualquier otro elemento que forme parte de un sistema de ser afectado ante cualquier amenaza que esté en el área de influencia.

Rojas Vilches *et al.* (2011) consideran que la exposición es un factor dinámico; ya que, dentro del análisis de la exposición, ésta tendrá una variedad de escenarios posibles, asumiendo que existe una variación diaria y estacional de la misma.

Lo anteriormente descrito, se refiere a que la exposición está en función de la posición geográfica de los elementos; sin embargo, Díaz Caravantes (2018) señala que la exposición puede tener una gradación incluso si se comparte un mismo espacio donde exista una amenaza en común (grado de exposición).

Por lo tanto, el grado de exposición puede o no tener una connotación geográfica; en este aspecto, para las Naciones Unidas en la Reducción de Riesgo de Desastres (UNDRR) en la terminología de riesgo de desastres (2009) señala que el grado de exposición dependerá en la forma en que estén expuestos la población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en zonas donde existan amenazas y, por lo tanto, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el 2005, define al grado de exposición como el tiempo y el modo de sometimiento de un ecosistema y sus componentes a los efectos de una actividad o energía potencialmente peligrosa; lo anterior expresado en unidades monetarias o de vida (CENAPRED, 2006)

1.1.6. Desastre

El desastre está definido por diferentes autores como la pérdida, ya sea directa (daño físico expresado en víctimas, infraestructura o medio ambiente) o indirecta (dividida en sociales o económicas)¹⁸ en una comunidad a consecuencia de un fenómeno que afecta la capacidad de respuesta ya sea a nivel político o social, impidiendo así el cumplimiento de las actividades esenciales y normales de una comunidad. Por lo que se convierte en un evento identificable en el tiempo y en el espacio (Wilches Chaux, en Maskrey, 1993; UNISDR, 2009; Vilches y Reyes, 2011; Soares *et al.*, 2014; Ley General de Protección Civil, 2018).

1.1.7. Gestión Integral de Riesgo de Desastre (GIRD)

Es el conjunto de acciones sistemáticas y planificadas con la participación concertada entre los diferentes actores institucionales y sociales a nivel nacional, regional, local y comunitario de manera integral; encaminado a elaborar estrategias, políticas públicas, planes y convenios interinstitucionales; con la finalidad de disminuir los impactos originados por las diversas amenazas, en el cual se incluyen tres enfoques (Wilkinson y Aragón, 2019):

- *Reducción de riesgos*: Se compone de políticas, estrategias, instrumentos/acciones e instituciones/estructuras que intenten reducir o eliminar o controlar la creación de riesgos futuros.
- *Preparación y respuesta ante emergencias*: No reducen los factores de riesgo existentes; está orientado a anticipar y controlar el nivel de impacto, así como brindar la rehabilitación y recuperación.
- *Transferencia del riesgo*: Ayuda a financiar la recuperación y la respuesta, desde seguros, bonos de desastre y de seguridad social.

Estas acciones deben estar estructuradas de acuerdo con los sectores sociales, económicos, así como con las regiones o territorios administrativos, funcionales y ecológicos; privilegiando así el salvaguardar la vida humana, el mejoramiento de la calidad de vida de la población y su desarrollo integral contenido dentro de un marco de derechos humanos (PNUD, 2012; Ley General de Protección Civil, 2012; Alcántara *et al.*, 2018; Wilkinson y Aragón, 2019).

1.1.8. Territorio

El concepto de territorio ha estado presente en todas las corrientes del pensamiento geográfico y se ha trasladado hacia otras disciplinas de las ciencias sociales como la sociología, antropología, historia, ciencias políticas, etc. (Vargas Ulate, 2012).

¹⁸ En la parte social podemos encontrar la interrupción a los servicios públicos y en la parte económica está la interrupción al comercio y a la industria.

Desde la geografía, específicamente desde la corriente francesa, existen ocho formas de utilizar el término territorio; a continuación, se describen las más relevantes en función operativa; el territorio desde el análisis espacial tiene connotaciones matemáticas para la investigación, confiere identidad, como sinónimo de espacio, alude al espacio controlado y delimitado, como un espacio socializado y finalmente, tiene una periodización histórica (Ramírez Velázquez y López Levi, 2015).

Así mismo se concibe al territorio como un espacio en función de relaciones de poder; por lo que el territorio está definido como un segmento de la superficie terrestre asociada a jurisdicciones Estatales las cuales mantienen relaciones de poder entre las naciones, por lo que la apropiación comienza a ser de forma política (Gastón Walter, 2016).

Con lo anterior se puede decir que, el territorio se refiere en primera instancia como a la porción de una superficie terrestre cuyos individuos se encuentran identificados por los elementos que en él existen confiriéndoles una identidad, lo que fomenta así la apropiación del espacio; por lo que puede haber diferentes espacios dentro de un territorio. Esta apropiación va creando vínculos con la sociedad y la naturaleza, generando procesos de transformación, lo que lleva a que estos espacios sean delimitados y controlados.

El territorio entonces pasa a ser un centro de relaciones de complejidad en función de la interacción entre los distintos componentes, sin limitarse solamente al medio físico; en este aspecto, la combinación surge al conjugarse elementos del medio físico natural, el medio ordenado mediante limitaciones administrativas dominadas por el Estado que lo controla, ejerciendo así una autoridad y una competencia que mantiene la integridad del territorio, confiriéndole el carácter de ordenado (Vargas Ulate, 2012).

Por esta razón, el territorio puede ser visto desde una perspectiva política, ya que esta unidad de espacio se utiliza para organizar y manejarse por una persona, grupo social o institución que lo controla; el territorio surge como una entidad vinculada al Estado que tiene como propiedades la exclusividad y reconocimiento de sus pobladores (Ramírez Velázquez y López Levi, 2015).

1.1.9. Ordenamiento Territorial

La ordenación del territorio desde el modelo francés, parte de un enfoque centrado en la planificación económica y la corrección de desequilibrios regionales, para lograr así un desarrollo socioeconómico y mejorar la calidad de vida (Sanabria Pérez, 2014); así el concepto francés "*aménagement du territoire*" hace alusión a la organización territorial mediante escenarios futuros entre los diversos actores sociales enmarcados en estrategias y políticas (Melgoza Mora, 2013).

Gómez Orea y Gómez Villarino (2013) definen de manera general el ordenamiento territorial (OT) a partir de tres elementos que lo conforman: Actividades humanas, el espacio en que se ubican y el sistema que ambas partes configuran. En consecuencia, ordenar un territorio significa identificar, distribuir, organizar y regular las actividades humanas tomando en cuenta ciertos criterios y prioridades; en este aspecto, el OT es una construcción planificada del sistema territorial¹⁹ hacia un horizonte temporal o indefinido.

Así pues, Gómez Orea menciona que se trata de una función de administración pública, de carácter integral orientada a conseguir el desarrollo sostenible de la sociedad mediante una conformación de sistemas territoriales armónicos y funcionales, proporcionando así una calidad de vida satisfactoria a la población.

De esta forma, este concepto se hace operativo mediante la proyección espacial de planes coherentes que están previstos en la legislación y ejecutándose mediante políticas sociales, ambientales, económicas, etc. Con este fin, esta ejecución va acompañada mediante tres fases que son: diagnóstico, planificación y gestión; cuya aprobación y aplicación corresponde a instituciones responsables de la administración pública mediante el apoyo científico-técnico y la concertación de agentes socioeconómicos (Sánchez y Palacio, 2004; Gómez Orea y Gómez Villarino, 2013).

Sin embargo; el concepto del OT sigue siendo muy amplio y varía en función de los autores, así como del contexto socioeconómico de acción según el país en donde se desarrolla su teoría. Entre las diversas definiciones podemos encontrar las que son más utilizadas por los autores e instituciones (Tabla 1.1):

¹⁹ Es una construcción social que representa el estilo de desarrollo de una sociedad conformado por las actividades y las interacciones que una población tiene con el medio físico, otorgando así una funcionalidad al sistema; por lo que es considerado como un proceso evolutivo ya que adapta su hábitat de acuerdo con sus necesidades con base en la división del trabajo y la especialización funcional del espacio con infinitas formas de organización (Gómez Orea y Gómez Villarino, 2013).

Tabla 1.1 Definiciones propuestas por autores e instituciones en el tema de OT.

| <i>Autor</i> | <i>Definición</i> |
|---|---|
| Carta Europea de Ordenación del Territorio, 1983. | Es a la vez una disciplina científica, una técnica administrativa y una política concebida como un enfoque interdisciplinario y global cuyo objetivo es un desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio, según un concepto rector. |
| Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, 1990 | Camino que conduce a buscar una distribución geográfica de la población y sus actividades, de acuerdo con la integridad y potencialidad de los recursos naturales que conforman el entorno físico y biótico, todo ello conjugado en la búsqueda de mejorar las condiciones de vida. |
| Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, (FAO, 1993) | Es la evaluación sistemática del potencial de la tierra y el agua, de las alternativas para el uso del suelo y de las condiciones económicas y sociales, con el fin de seleccionar y adoptar las mejores opciones de uso del suelo que mejor satisfagan las necesidades de las personas, salvaguardando los recursos para el futuro. |
| Grupo Interinstitucional de OT, (GIOT), México, 2000, Secretaría de Desarrollo social, (SEDESOL), México, 2000. | Estrategia de Desarrollo socioeconómico que, mediante la adecuada articulación funcional y espacial de las políticas sectoriales, busca promover patrones sustentables de ocupación y aprovechamiento del territorio. |
| Gómez Orea, 2001. | La proyección en el espacio de las políticas social, cultural, ambiental y económica de una sociedad, y el sistema territorial, como el resultado de aquellas. |
| Instituto de Planificación Física, Cuba, 2001 | La actividad que, a partir de conceptos y métodos científicos propios de la planeación física y el urbanismo, propone, regula, controla y aprueba las transformaciones espaciales en el ámbito rural y urbano con diversos niveles de precisión, integrando las políticas económicas, sociales y ambientales; y los valores culturales de la sociedad en el territorio, con el objetivo de contribuir al logro de un desarrollo sostenible. |
| Massiris, 2005 | Un proceso y una estrategia de planificación, de carácter técnico-político, con el que se pretende configurar, en el largo plazo, una organización del uso y ocupación del territorio, acorde con las potencialidades y limitaciones de este, las expectativas y aspiraciones de la población y los objetivos sectoriales del desarrollo. |

Fuente. Elaboración propia con base en FAO (1993), Sánchez y Palacios (2004) y Rodríguez (2013).

Finalmente, el ordenamiento territorial es una política que emana del estado y es concebido como un proceso y una estrategia de planificación de carácter técnico-político, a través del cual se pretende configurar, en el corto, mediano y largo plazo, una organización del uso y ocupación del territorio, acorde con las potencialidades y limitaciones del mismo, las expectativas y aspiraciones de la población y los objetivos sectoriales de desarrollo (económicos, sociales, culturales y ecológicos) (Palacio-Prieto y Sánchez-Salazar, 2004).

Integrar la GIRD en la planeación territorial como puede ser dentro de los planes de ordenamiento territorial, impulsaría a gestionar el territorio de manera integral por medio de estrategias interinstitucionales entre los diferentes actores que forman parte

de nuestro sistema, con la finalidad de disminuir los riesgos y evitar los desastres; para así, proteger a la población, aprovechar y gestionar de manera eficiente los recursos naturales, ser más eficientes en las capacidades de respuesta y fomentar el cumplimiento normativo.

1.1.10. Política pública

Tomando en consideración que el OT es una política pública emanada por el Estado, la cual interactúa en los ámbitos económicos, socioculturales e institucionales en la concertación de actores para el manejo del territorio; se considera que esta práctica se sustenta en la cooperación y fomento de capacidades para la gestión territorial, lo que impulsa a este como un factor para el desarrollo (González Díaz *et al.*, 2012).

Ante este hecho, las políticas públicas se constituyen como un instrumento social apto, que relaciona el territorio con sus diversos actores, tomando en cuenta las necesidades, los intereses, los valores, las vivencias y los acuerdos; estos últimos van a retroalimentar a las primeras (Arias y Herrera, 2012).

Para definir este término, es necesario diferenciar dos conceptos, política y políticas; el primero se refiere a las relaciones de poder, de confrontaciones entre organizaciones sociales dentro y fuera del gobierno. El segundo término está asociado a las acciones, decisiones y omisiones por parte de los distintos actores involucrados en los asuntos públicos (Aguilar Astorga, 2017).

La definición en la que se engloba el término de políticas públicas está asociado a un conjunto de acciones para alcanzar objetivos comunes, en las que interactúan el sector público, el sector privado y la ciudadanía en torno a los problemas colectivos; en este contexto, las definiciones propuestas para las políticas públicas hacen referencia a lo anteriormente descrito; por este motivo, Arias y Herrera (2012) mencionan algunas consideraciones básicas para construir una definición propia de política pública:

1. Orientación normativa: La política pública no es el resultado de respuestas arbitrarias propuestas por el gobierno a un problema colectivo; sino de decisiones que tomará un gobierno y que serán guiadas por los diversos actores dentro de un territorio para su puesta en marcha, haciéndola y rehaciéndola durante la ejecución.
2. Es considerada política “pública” por ser generada de manera simétrica entre el gobierno, el sector privado y la ciudadanía, atendiendo en un marco institucional y vinculante.
3. Las políticas públicas son políticas gubernamentales con basta intervención social.

4. Su orientación es meramente práctica, por lo que los resultados esperados serán a mediano o largo plazo; al ser práctica, también se puede constituir en una no acción.
5. Será implementada de forma técnica-científica, en la que se movilizarán y gestionarán recursos humanos, financieros, técnicos y organizacionales (ejecución), para así generar impactos, resultados y productos que afecten al problema en tratamiento.

A continuación, se hace una definición propia del término de políticas públicas tomando en consideración los puntos anteriormente mencionados: *“La política pública es un conjunto de decisiones guiadas entre los sectores sociales, públicos y privados ante una problemática dentro de un territorio; dichas decisiones estarán enmarcadas en un plano institucional confiriéndole así un carácter vinculante ante las normas que rigen el territorio. Por lo que la concertación entre los actores (social, público y privado) deberá ser simétrica y gestionada de forma técnico-científico; generando así impactos, resultados y productos a un mediano o largo plazo; con la finalidad de mejorar y aprovechar las capacidades entre los tres diferentes actores para una mejor gestión del territorio; en donde inclusive el poner o no en práctica estas decisiones, también son consideradas acciones”*.

Conceptos de Sequía, Cuenca y Geosistemas

1.1.11. Sequía

Este término resulta ser el más complejo, quizás por las múltiples definiciones que lo enmarcan dando como resultado un concepto polisémico, por este motivo resulta difícil darle un significado *ad hoc* ya que como lo mencionan Velasco *et al.* (2005) es complicado darle un enfoque genérico que contemple todos los aspectos y satisfaga todas las expectativas; hace énfasis en que es una particularidad del clima y del medio ambiente que a su vez desencadena múltiples facetas confiriéndole un carácter altamente relativo.

Wilhite y Glatz (1985) mencionan que hay más de 150 definiciones para sequía y debido a esto no hay umbrales fijos para indicar cuando es que se inicia un periodo de sequía; así que de manera general menciona cuatro tipos de sequía las cuales son:

Sequía meteorológica: Basada en datos climáticos, es una expresión de la desviación de la precipitación respecto a la media durante un periodo de tiempo determinado.

Sequía agrícola: Por ser el primer sector económico afectado por la escasez de la precipitación. No hay humedad suficiente en el suelo para permitir el desarrollo de un determinado tipo de cultivo.

Dado que para cada tipo de cultivo la cantidad de agua es diferente, no es posible establecer umbrales de sequía, ni siquiera para un área geográfica.

Sequía hidrológica: Hace referencia a una deficiencia del caudal o volumen de aguas superficiales o subterráneas al producirse un desfase entre la escasez de lluvias y la reducción de caudal de ríos o nivel de lagos y embalses, las mediciones hidrológicas no pueden ser utilizadas como indicador de inicio de sequías, pero sí de su intensidad.

Sequía socioeconómica: Cuando la disponibilidad de agua disminuye hasta el punto de producir daños (económicos o personales) a la población afectada por la escasez de lluvia. No es necesario que se produzca una restricción del agua, si no que basta que un sector económico sea afectado por la escasez hídrica. Por lo que la presión antrópica sobre el recurso agua hace que cada vez sea mayor la incidencia de sequía socioeconómica.

En México, el Servicio Meteorológico Nacional²⁰ define este concepto en tres formas:

- 1.- Situación climatológica anormal que se da por la falta de precipitación en una zona, durante un periodo de tiempo prolongado. Esta ausencia de lluvia presenta la condición de anómala cuando ocurre en el periodo normal de precipitaciones para una región bien determinada. Así que para declarar que existe una sequía en una zona, debe tenerse primero un estudio de sus condiciones climatológicas.
- 2.- Ausencia prolongada, diferencia marcada o pobre distribución de precipitación.
- 3.- Periodo anormal de tiempo seco suficientemente prolongado, en el que la precipitación causa un grave desequilibrio hidrológico.

García *et al.* (2002) mencionan que no existe una definición que sea aceptada universalmente, ya que las definiciones dependen del enfoque científico meteorológico, hidrológico, geográfico, etc.) o de la actividad económica que se afecta (agricultura, ganadería, industria, recreación, etc.). Por lo que sugieren un pequeño cambio al concepto propuesto por la *American Meteorological Society* la cual señala que: “La sequía es un lapso caracterizado por un prolongado y anormal déficit de humedad”.

Domínguez (2016) hace referencia a Florescano (2000) quien da una definición tentativa de sequía: “Es la ausencia de humedad, especialmente por falta de lluvia”, mencionando que es un evento que afecta la vida de los seres humanos, destruye las fuentes básicas de la alimentación y provoca desórdenes en la vida social y política. En este sentido, Domínguez señala que esta conceptualización es una construcción

²⁰ Con información del glosario técnico sobre los términos utilizados en el portal.

social de la sequía, fundamento que es importante porque considera los efectos de los seres humanos y su cotidianidad.

Actualmente, estas definiciones de sequía han cambiado y ahora toman en cuenta el papel que juegan los ecosistemas, los cuales aprovecha la sociedad en su vida diaria. En este aspecto, Crausbay y Ramírez (2017) señalan que las sequías del siglo XXI se caracterizan por temperaturas más cálidas, mayor duración y extensión espacial, y se ven cada vez más exacerbadas por las demandas humanas de agua. También menciona que parte del problema es que las definiciones de sequía existentes que describen impactos de la sequía meteorológica (agrícola, hidrológica y socioeconómica) están centradas en el hombre, dejando completamente de lado las dimensiones ecológicas de la sequía. Por consiguiente; las poblaciones humanas en rápida expansión y las consecuencias del cambio climático, propician un aumento en la presión de los suministros de agua ecológicos y alteran los ecosistemas de manera que pueden aumentar su vulnerabilidad a la sequía y haya consecuencias para la sociedad.

1.1.12. Cuenca

Son territorios definidos de manera natural por un parteaguas (generalmente las partes más altas de las montañas); tienen una interrelación espacial y temporal entre los subsistemas biológico, físico, económico y social; que están estrechamente ligados entre sí (GWP, 2009 y Cotler *et al.*, 2013).

Son consideradas unidades funcionales en donde los escurrimientos que son arroyos y ríos se inician desde el parteaguas, dentro de esta unidad se reconocen tres zonas funcionales:

- Zona de captación, de cabecera o cuenca alta: Son áreas aledañas a la parte divisoria de aguas o parteaguas en la parte altimétrica más elevada de la cuenca. Aquí podemos encontrar sistemas de montañas y/o lomeríos.
- Zona de almacenamiento, de transición o cuenca media: Corresponden a una zona de transición entre la cuenca alta y baja, donde los escurrimientos iniciales confluyen.
- Zona de descarga, de emisión o cuenca baja: Los caudales formados por los escurrimientos van a desembocar en un río, lago o mar. Está caracterizada por ser una zona de diversas actividades productivas (ganadería, agricultura, infraestructura, etc.).

Las cuencas están estructuradas jerárquicamente ya que pueden subdividirse al interior en subcuencas y dentro de éstas podemos encontrar microcuencas, así mismo pueden estar divididas por tamaño geográfico, por ecosistema (en función del

medio o ecosistema en el que se ubiquen), por relieve (cuencas de alta montaña, cuencas accidentadas o quebradas y cuencas planas), objetivo (agua poblacional, riego, ganadería, hidro-energética) y por la dirección de la evacuación de las aguas:

- Exorreicas o abiertas: Drenan sus aguas al mar o al océano.
- Endorreicas o cerradas: Desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación fluvial al mar.
- Arreicas: Las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje.
- Criptorreicas: Cuando sus redes de drenaje superficial no tienen un sistema organizado o aparente y corren como ríos subterráneos (zonas kársticas).

Por consiguiente, una cuenca se configura como un sistema complejo debido a que contiene una variedad de componentes, niveles jerárquicos y una gran intensidad de interconexiones que lo hacen dinámico (Cotler, 2007; GWP, 2009 y Cotler *et al.*, 2013).

En la Figura 1.1, se representa gráficamente una cuenca (sistema²¹) en donde interactúan diversos componentes (subsistemas), estos subsistemas desde el punto de vista de la visión sistémica en el ámbito de los sistemas complejos, son interdefinibles ya que están interconectados entre sí (elementos de primer nivel), aquí podemos encontrar efectos locales productos de la relación entre el medio ambiente y la sociedad; ante un elemento externo (elemento de segundo nivel) como lo es la sequía meteorológica, la cual interactúa con los subsistemas del primer nivel estableciendo así relaciones de contorno; es decir, que los elementos fuera del primer nivel interactúan con estos mismos creando flujos a diferentes velocidades de cambio; por consiguiente, ante una amenaza natural como es el fenómeno de la sequía meteorológica (elemento de segundo nivel) puede incidir en el sistema por medio del grado de intensidad que puede ser menor o mayor (días, meses, años) estableciendo así una relación de contorno; así que dependiendo de la intensidad, el riesgo a padecer una sequía hidrológica, agrícola, urbana, etc. dependerá del periodo de ocurrencia. En consecuencia, la sequía ecológica considerada como un déficit prolongado y episódico en los suministros de agua disponibles en forma natural, puede llegar a afectar a los ecosistemas, a los servicios que estos nos proveen, así como la gestión de agua para los sectores sociales, en este contexto estamos hablando sobre la vulnerabilidad ambiental y vulnerabilidad social.

²¹ Por sistema se va a considerar el enfoque de “sistemas complejos” propuesto por Rolando García (1994), en donde nuestro objeto de estudio es un sistema ambiental, mismo que tiene una localización geográfica el cual puede ser explorado, descrito, analizado y explicado como un todo o por cada uno de sus partes (subsistemas); los subsistemas varían dependiendo su naturaleza, grado de energía artificial o natural que consumen y no se comportan de forma independiente. estos subsistemas desde la perspectiva del análisis territorial se pueden concebir como geosistemas.

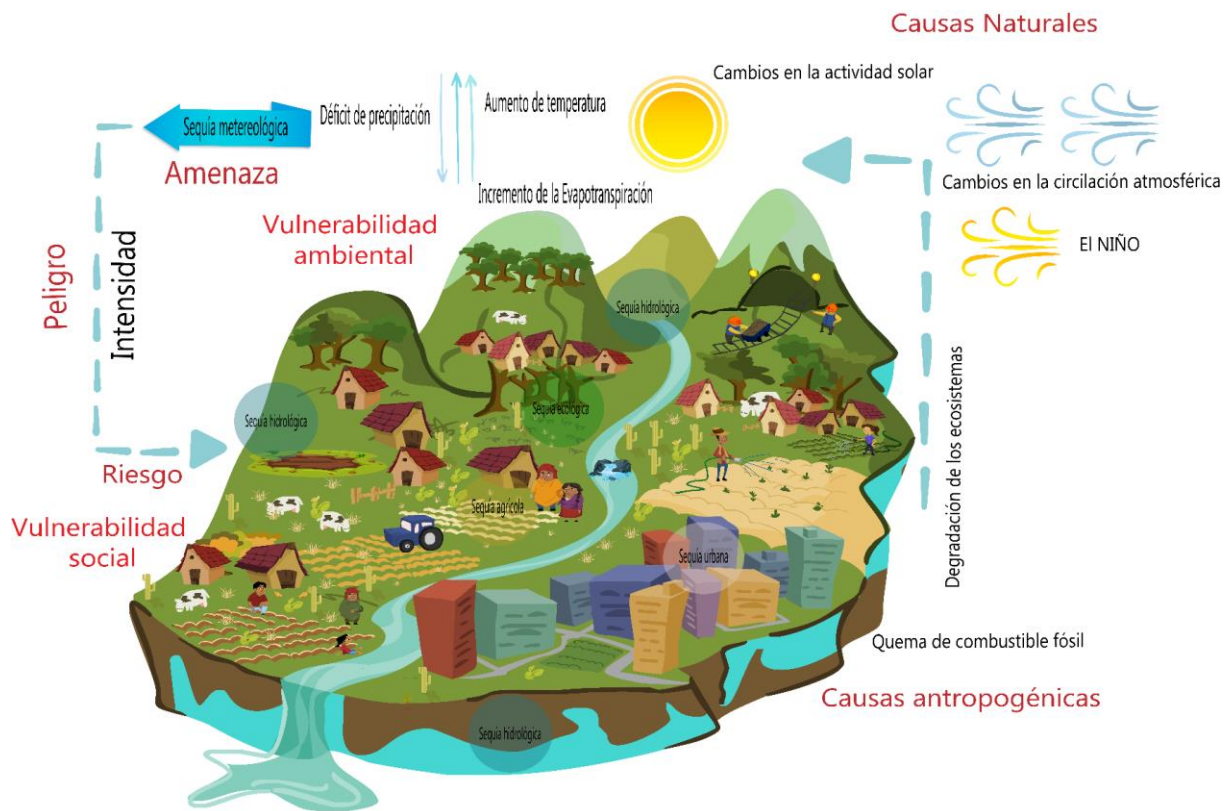


Figura 1.1. Enfoque sistémico de una cuenca desde el análisis del riesgo de desastres.

Fuente: Elaboración propia con base en Cotler, 2007; GWP, 2009 y Cotler *et al*, 2013, desde el punto de vista de los sistemas complejos (García, R., 1994).

1.1.13. Geosistemas

Concibiendo al medio ambiente como un sistema abierto, de formación histórica, conformado de relaciones bilaterales entre la sociedad y los recursos naturales; desde el enfoque de sistemas complejos propuesto por García (1994), el geosistema es un sistema de elementos abióticos, bióticos y socioeconómicos con los que el hombre en su actividad de producción de bienes y servicios entra en contacto modificándolos, ejerciendo así impactos en la naturaleza que varían en forma e intensidad; así mismo, estos impactos tienen un carácter de recuperación muy lenta o irreversible (Arcia Rodríguez, 1994).

Con el enfoque de las investigaciones geográficas y con el uso de los sistemas complejos en el medio ambiente, se ha optado por utilizar el término de geosistema, como unidad de análisis espacial, donde hay relaciones entre el sistema natural, el sistema social y el sistema económico en el espacio y en el tiempo; estas relaciones producen complejos mecanismos de interacción en los procesos de cambio, impacto,

consecuencia; dentro del sistema ambiental y repercuten en los subsistemas social y económico (Arcia Rodríguez, 1994).

Desde el punto de vista medioambiental, los geosistemas dependen fundamentalmente de dos factores: la variabilidad de los distintos usos del territorio y de los límites espaciales en los que se representan estos; por lo que los geosistemas como unidad espacial, es resultante de la interrelación entre el potencial ecológico, la explotación biológica y la acción antrópica. En este aspecto, los geosistemas se agrupan de forma jerárquica tomando en consideración la energía (artificial o natural) para mantener su funcionamiento y por consiguiente para regularse (Arcia Rodríguez, 1994).

Finalmente, los geosistemas sirven como fuente de análisis para los factores de estrés ecológico para la protección y optimización del medio ambiente (Arcia Rodríguez, 1994).

CAPÍTULO 2. SEQUÍA: CARACTERÍSTICAS, CAUSAS E IMPACTOS EN EL CONTEXTO MEXICANO

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA SEQUÍA

2.1.1. Características de la sequía

El fenómeno de la sequía difiere de otros fenómenos meteorológicos por su temporalidad, esto debido a que el inicio y el final son algo inciertos en relación con el tiempo; por esta razón, para establecer el inicio de una sequía dependerá de la información utilizada. Aunque el término sequía; de manera general, se maneja para definir a ésta en relación con el déficit de precipitación y de humedad en el suelo, así como para determinar la escasez de agua para satisfacer la demanda de una sociedad; ésta también suele aplicarse para referirse a las deficiencias o carencias de agua proveniente de otras fuentes (Hernández *et al.*, 2007).

Se considera que la sequía es un fenómeno climático recurrente, con tendencia a extenderse de manera irregular a través del tiempo y espacio; por lo que no representa una trayectoria y un epicentro definido (Ortega, 2013). Por lo que se le confiere un carácter relativo y elusivo; llegándosele a considerar como un *no evento*, ya que es difícil afirmar que ante una condición dada de ausencia de lluvias se trata de una sequía o de un retraso; de esta forma, a este fenómeno se le conoce más por los efectos que produce que por el fenómeno en sí (Velasco *et al.*, 2005).

Tomando en consideración lo anterior, es importante determinar la magnitud y frecuencia de un valor clave en la sequía con la finalidad de estimar un umbral (anomalía pluviométrica negativa) para detectar el valor a partir del cual se van a empezar a experimentar impactos severos en la sociedad. También es importante

considerar la duración del fenómeno extremo, ya que ésta informará acerca del tiempo en que un sistema va a estar sometido bajo los efectos de una situación anómala. Finalmente, la extensión espacial va a reflejar la porción del territorio que se verá sometida (Pita, 1989).

La duración (D) del fenómeno está en función del denominado *nivel de truncamiento* (X_0), éste es una referencia en donde los valores menores representan una deficiencia de precipitación y probablemente el inicio de una sequía, la cual estará medida en la cantidad de lluvia, escurrimiento, etc. Los otros parámetros para considerar son la severidad (S) que se refiere al déficit acumulado en todo el periodo y la magnitud o intensidad (I) al déficit por unidad de tiempo que va de meses o años (Figura 2.1) (Velasco *et al.*, 2005).

D = Duración.

I = Intensidad.

S = Severidad.

T_1 = Tiempo de inicio.

T_2 = Tiempo de terminación.

X_0 = Nivel de referencia o truncamiento

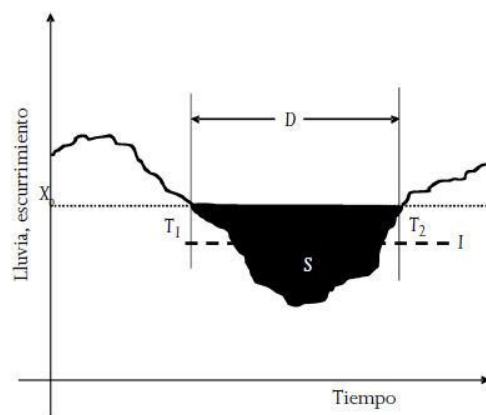


Figura 2.1. Parámetros básicos de la sequía.

Fuente: Velasco *et al.*, 2005.

2.1.2. Causas de la sequía

Las causas que dan origen a las sequías no han sido del todo identificadas completamente, sin embargo, los procesos de generación de lluvias y su alta variabilidad son un elemento clave para caracterizar la existencia o no de la sequía (Hernández *et al.*, 2007).

Las causas de la sequía se pueden dividir en dos categorías: de origen natural y antropogénicas (García *et al.* 2002; Hernández *et al.*, 2007; Ortega, 2013).

Causas naturales:

- Cambios en la actividad solar.
- Modificaciones en los patrones de la circulación de la atmosférica.
- Fenómenos de interacción entre el océano y la atmósfera (El Niño Oscilación Sur/ENOS).

Causas antropogénicas:

- Quema de combustibles fósiles.
- Degradación ambiental (degradación del suelo, deforestación y desertificación).
- La alteración de los ecosistemas ecológicos naturales.

Se debe tener en cuenta que todos los procesos físicos, químicos y biológicos que interactúan en el sistema terrestre están conectados entre sí; es decir, hay una conexión entre la tierra, el océano y la atmósfera; estos últimos están caracterizados por límites definidos y patrones periódicos. Por lo que, para comprender mejor esta interacción, debemos enfocarlo desde el punto de vista del clima; ya que éste se ha caracterizado por las condiciones ambientales (temperatura y precipitación, principalmente) en diferentes intervalos de tiempo (Duarte *et al.*, 2006).

En este aspecto, los elementos que conforman al clima son considerados como valores variables y no puntuales en tiempo y espacio; es decir, la temperatura, los vientos y la precipitación, son resultado de la interacción solar, la órbita terrestre, la altitud, la composición atmosférica, las corrientes oceánicas, el efecto albedo y; en años recientes, los factores antropogénicos han jugado un papel importante en la modificación del clima produciendo un incremento de la temperatura global ocasionado por el efecto invernadero, al cual se le responsabiliza del aumento del nivel del mar, la disminución de las capas de hielo y nieve, así como del cambio en las tendencias en las precipitaciones (Useros Fernández, 2012).

Es preciso resaltar que el clima evoluciona en el tiempo, debido a factores que son externos, por ejemplo (Duarte *et al.*, 2006):

Causas externas al sistema climático:

Actividad solar: La radiación emitida por el sol es considerada como el principal factor que influye en el clima.

- Movimiento Tierra-Sol: La órbita de la Tierra que es cambiante, aunado con la inclinación del eje del Sol; ocasiona que la radiación solar se distribuya de manera diferente sobre la superficie de la Tierra.

Causas internas al sistema climático:

- Distribución en el balance de energía: Si bien el planeta se encuentra en equilibrio en términos de radiación, ésta no se distribuye de manera equitativa en cada lugar debido a la latitud.
- Efecto invernadero: Ocasionado por un primer elemento como es el vapor de agua (80%) y el segundo por el dióxido de carbono (CO₂); ha sido un factor clave para la existencia de vida en el planeta, por lo que cualquier modificación podría alterar la vida misma.
- Dinámica interna del sistema (vientos, corrientes y retroalimentación.): La atmósfera y el océano por medio de los vientos y las corrientes marinas, tienden a reducir la diferencia entre el aporte neto de energía en las latitudes bajas y el déficit en las latitudes altas. Los vientos y las corrientes también juegan un papel importante en la definición del clima a nivel regional. Son estas dinámicas las que se denominan retroalimentaciones y son consideradas como efectos no lineales.
- El rol de las nubes: Las nubes pueden tender a favorecer o atenuar el efecto invernadero dependiendo de la altura de estas. Las nubes altas dejan pasar la radiación solar, sin embargo, absorben la terrestre; las nubes medias impiden completamente el paso de la radiación solar.
- Cambio en la composición de la atmósfera: La absorción de la radiación solar por parte de la atmósfera es realizada por los gases que la constituyen, así como de partículas que se encuentran en suspensión en el aire. Por lo que cualquier cambio en la composición atmosférica o en la alteración de sus componentes, influyen también en la absorción de radiación y por consecuencia, en el efecto invernadero.

2.1.3. Consecuencias de la sequía

La sequía produce una compleja red de impactos que atraviesan los límites de un territorio (Hernández *et al.* 2007) y en el contexto nacional, es el fenómeno que más daños está produciendo en la sociedad mexicana, principalmente en zonas donde históricamente se presenta este fenómeno (Esparza, 2014) y que, debido a su

proceso lento de evolución, es uno de los fenómenos naturales más costosos en cuanto a sus impactos (Lobato, 2016).

Si se reconoce que la sequía tiene una fuerte connotación cultural debido a la percepción que tiene la sociedad frente a una ideología sobre la ausencia o escasez de la lluvia en un tiempo relativo (Oropeza Orozco, 2009), las consecuencias se convierten de índole social, debido a que si una población se enfrenta a un fenómeno de sequía, la sociedad puede no percibirlo si las fuentes superficiales o embalses cuentan con el agua suficiente para el abastecimiento habitual de una población en lo que retorna la temporada de lluvias (Esparza, 2014).

Sin embargo, si se examinan los impactos de la sequía como un conjunto de sistemas, vemos que no solo afecta a los actores sociales; sino que existe una interrelación entre factores físicos y sociales que al combinarse presentan impactos en ambos sistemas tanto físicos, que finalmente se trasladan a los sociales (Wilhite & Glantz, 1985).

Por lo que, si analizamos en un territorio (sistema) los impactos que produce la sequía en términos sociales, económicos y ambientales (subsistemas), podemos encontrar que están asociados en función de la oferta y la demanda de los bienes y servicios que ofrecen, y a su vez estos impactos van encadenando nuevos eslabones hasta llegar a nuevos sistemas. Estas repercusiones tienen como nodo central la alteración de los servicios ambientales, específicamente en la alteración de los aportes hídricos (Figura 2.2).

De manera que, los impactos producidos por la sequía, a diferencia de otros fenómenos de origen hidrometeorológicos, son graduales en términos de tiempo y espacio, cuyas consecuencias hacen que se diferencien sectorialmente tipificando así la sequía conforme va transcurriendo el tiempo (Urquijo, 2015).

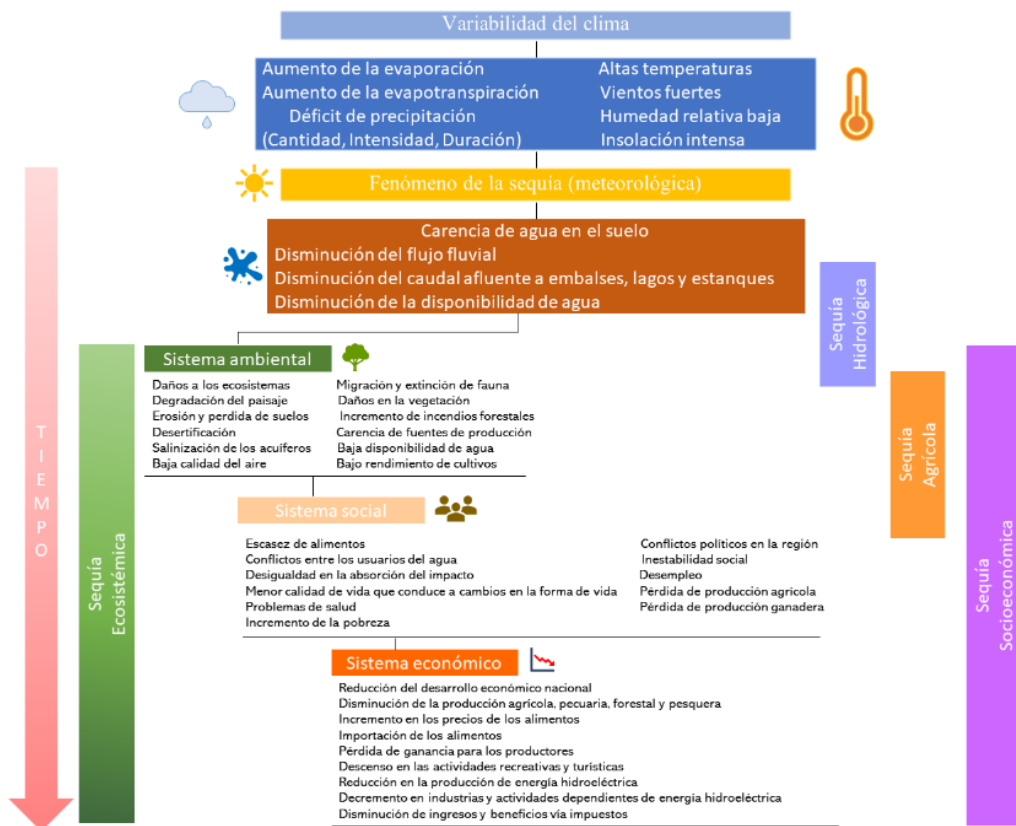


Figura 2.2. Impactos de la sequía en los ámbitos ambiental, social y económico; y su tipificación.
Fuentes: Elaboración propia con información de Wilhite & Glantz (1985), Velasco *et al.* (2005) y Arreguín *et al.* (2016).

Considerando que los efectos de la sequía comienzan principalmente por una disminución en la disponibilidad de agua, la cual desencadena consecuencias (en un primer nivel) al sistema ambiental con la alteración de los ecosistemas y el suelo; un problema que está relacionado con este último es el de la desertificación. Oropeza (2004, en Martínez *et al.*, 2004) menciona que el fenómeno de la sequía puede actuar como un detonador o catalizador en los procesos de desertificación.

Sin embargo, hay factores de origen antropogénico considerados relevantes que pueden influir en la desertificación, mismos que dependen de la gran diversidad de sociedades y culturas, como, por ejemplo: la agricultura de riego y temporal (uso inadecuado de tecnología, mal manejo del riego y drenaje, abuso de fertilizantes, etc.), el sobrepastoreo, la actividad forestal no controlada, el desarrollo urbano e industrial y el cambio de usos de suelo (Oropeza, 2004, en Martínez *et al.*, 2004).

La desertificación es el producto de una serie de procesos acumulados de origen climático y el uso inadecuado e ineficiente de la tierra (Molina y Lozano, 2015), misma que está asociada con la disminución de los niveles hídricos de ríos, lagos y acuíferos, lo que desencadena costos sociales (segundo nivel) por ejemplo, las migraciones y

los conflictos, por mencionar algunos (Hernández *et al.*, 2007), impactando finalmente al sector económico (tercer nivel), ocasionando así un alza de precios a los productos básicos, desabasto y aumento de servicios de energía provenientes de hidroeléctricas, disminución de ingresos y beneficios vía impuestos, etc.

Ortega (2013) menciona que los impactos de la sequía en países desarrollados, afecta principalmente a nivel económico y ambiental, mientras que en países subdesarrollados como es el caso de México, los impactos de la misma tienen un carácter altamente social (migración, hambrunas, reducción en la calidad y bienestar de vida); sin embargo, debería considerarse también el impacto ambiental ya que de acuerdo con un reporte publicado en el 2014 por el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA), las actividades en las zonas rurales están enfocadas en la explotación de los recursos naturales.

De acuerdo con lo anterior, los recursos naturales juegan un papel importante en los medios de vida rurales, ya que, la población, además de aplicar diversas estrategias de subsistencia como la agricultura y el pastoreo, aprovechan estos recursos para satisfacer sus necesidades a través de la recolección de productos forestales o servicios provenientes de los ecosistemas; por lo que los medios de vida muestran la relación ambiente y sociedad, mismos que se ven afectados directa o indirectamente por los entornos locales (Nawrotzki *et al.*, 2012).

A este respecto, los medios de vida *“comprenden las capacidades, los bienes y las actividades necesarias para ganarse la vida y es sostenible cuando puede hacer frente y recuperarse... manteniendo o mejorando sus capacidades o activos, proporcionando oportunidades... para la próxima generación... a largo y corto plazo”* (Chambers & Conway, 1991: 6). Siendo un aspecto central la diversidad de capital en donde podemos encontrar el capital natural; el cual incluye el acceso a la tierra, el agua y la vida silvestre en hogares que se dedican a las actividades para el sustento y generación de ingresos (Carney *et al.*, 1999).

Finalmente, en el contexto mexicano, también debe incluirse el análisis del impacto ambiental a consecuencia de la sequía; esto permitiría proteger y desarrollar medios de vida prioritarios capaces de adaptarse en conjunto a las condiciones cambiantes del entorno en poblaciones afectadas por este fenómeno (ISDR, 2010), enfocándose principalmente en tres categorías que pueden ser distribuidas en diferentes puntos en la gestión del riesgo, las cuales son:

- Promoción de los medios de vida: Son proyectos de desarrollo a largo plazo que incluyen metodologías participativas orientados a la mejora de la capacidad de recuperación de los hogares, mediante programas basados en la diversificación y comercialización de cultivos, el desarrollo institucional dentro y fuera de una población, incentivar la participación ciudadana en la comunidad para la prestación de servicios a la comunidad, etc.

- Protección de los medios de vida: Ayuda a prevenir una reducción en los medios de vida de los hogares por medio de programas de alerta temprana, intercambio de bienes o servicios (dinero en efectivo, trabajo, semillas, alimento, herramientas, salud, etc.) entre la población.
- Provisión de los medios de vida: Está enfocado en garantizar suministros de alimentos, agua y otras necesidades esenciales en situaciones de emergencia.

Estas categorías de promoción, protección y provisión de los medios de vida; se consideran como no exclusivas. La categoría de promoción está vinculada con la categoría de protección, lo que facilita la atención en el área de vulnerabilidad en el sistema socioambiental. Estas dos categorías garantizan la incorporación de la tercera categoría (provisión de los medios de vida) en la mitigación del riesgo, desde una perspectiva participativa (Carney *et al.*, 1999).

2.2 Gestión integral del riesgo en el contexto del fenómeno de la sequía

2.2.1 La sequía como una amenaza natural y como un desastre de origen social

La sequía, como se ha mencionado, constituye una amenaza natural, resultado de una deficiencia de precipitaciones promedio o estimadas como “normales”; que cuando se prolonga durante una temporada o más, por interacción con otros factores como pueden ser la temperatura, la humedad y el viento; llega a afectar a los ecosistemas, repercutiendo así en los suministros de agua, volviéndose un proceso ineficiente para satisfacer la demanda del medio ambiente y por consiguiente, de las necesidades humanas originando un estado de crisis por el recurso hídrico (Wilhite y Pulwarty, 2018).

Otro hecho importante que hace que la sequía sea considerada como una amenaza, es que está relacionada con su extensión espacial, sus impactos (no hay dos sequías idénticas) y su probabilidad de aparición. La zona afectada por la sequía, rara vez estará estática durante el curso del evento; a medida que se va intensificando, el área central o epicentro se va extendiendo (Wilhite y Pulwarty, 2018). En este contexto, las crisis relacionadas con el agua también van en un sentido escalar, es decir, sus efectos se originan desde los ecosistemas, disminuyendo la calidad y la cantidad en el acceso de agua potable para los diversos sectores de la sociedad, hasta llegar a trascender a nivel económico.

Cabe resaltar que la sequía por sí misma no es un desastre; lo que la convierte como tal, dependerá del impacto en el medio ambiente y en la población. Es decir, dependerá de la adaptación y del nivel de resistencia a los periodos prolongados de precipitaciones deficientes, así como de la toma de decisiones por parte de las administraciones en los diferentes niveles (Wilhite y Pulwarty, 2018). Así que cuando

se produce el fenómeno de la sequía, los gobiernos hacen una evaluación del impacto para realizar actividades de respuesta, recuperación y reconstrucción para que una región o localidad pueda retomar actividades; por lo que históricamente se ha prestado poca atención a las medidas de prevención o mitigación, así como de la preparación de políticas nacionales de gestión de la sequía; abordando de esta manera los “síntomas” de la sequía (gestión de crisis) (GWP, 2014).

Los impactos de la sequía no solo dependen de las características físicas y temporales del fenómeno, también dependen del nivel socioeconómico y tecnológico de las áreas afectadas, del equilibrio entre la disponibilidad y la demanda del recurso hídrico para la permanencia de los ecosistemas y para la realización de las actividades humanas, así como la habilidad de las comunidades y de los gobiernos para implementar acciones y estrategias que sean adecuadas para prevenir y mitigar los impactos (Ortega, 2018). Consecuentemente, los desastres originados por un evento natural son multidimensionales, ya que engloban a la sociedad, así como las decisiones políticas que se tomen para hacer frente al evento. La dimensión social en la cual está incluida el aumento de la población, la rápida urbanización sin una adecuada planeación territorial, etc. da como resultado la creación de condiciones inseguras, un ejemplo son las personas que se ven obligadas a ocupar y habitar zonas con cierto potencial de peligro por ahorrar tiempos de traslados al trabajo y también por el hecho de que el Estado fomente la urbanización en territorios no aptos y sin la protección adecuada, así como los planes de gestión ante la sequía, que es donde entra en juego la parte política gubernamental, ya que los gobiernos proporcionan ayuda mediante el apoyo a sectores productivos y subsidios; por lo que solo cubren el impacto y no se presta atención a la prevención (Wilhite y Pulwarty, 2018., Ortega, 2018).

Los impactos de las sequías dependen entonces de factores humanos (personas y comunidades) que responden al fenómeno en función de una gran variedad de elementos, los cuales están relacionados con la cultura, la percepción del peligro y la organización social al momento de que ocurre el evento (Oropeza, 2009; Ortega, 2018).

2.2.2 El cambio de paradigma en la gestión del riesgo de desastres en el contexto internacional y su aplicación en México

Con el incremento de los eventos hidrometeorológicos que cada vez son más intensos y recurrentes, ha llamado mucho la atención de los responsables en la formulación de políticas, planes, regulaciones y estructuras a nivel mundial para abordar el riesgo de desastres, ahora conocido como gestión del riesgo (Wilkinson y Aragón, 2019).

La gestión integral del riesgo de desastres (GIRD) es definida de diversas formas por distintos actores, sin embargo; de manera concreta se refiere a un conjunto de estrategias, políticas, planes y convenios institucionales dirigidos a disminuir los

impactos adversos de las amenazas, así como la probabilidad de ocurrencia de desastres. Comprende tres enfoques principales (Wilkinson y Aragón, 2019):

- Reducción de riesgos de desastres: Compuesta de políticas, estrategias, instrumentos/acciones e instituciones/estructuras para reducir o eliminar de manera correctiva el riesgo y controlar los riesgos futuros. Se busca eliminar o reducir de forma significativa el riesgo. Se incluyen soluciones ingenieriles, actividades normativas relacionadas con el uso de la tierra, organización y planificación territorial/ambiental, reducción de la pobreza, fortalecimiento de los medios de subsistencia, desarrollo de capacidades y educación.
- Preparación y respuesta ante emergencias: No reducen los factores de riesgo existentes; se anticipa y se controla el nivel de impacto, se brinda rehabilitación y recuperación. No todos los factores de riesgo pueden controlarse, la pérdida o el desastre a cierto nivel son inevitables. El riesgo residual se puede evitar mediante acciones de preparación (sistemas de alerta temprana, planes de emergencia, respuesta a urgencia de desastres, plan de rehabilitación y reconstrucción)
- Transferencia del riesgo: Utilizados para ayudar a financiar la recuperación y respuesta; se utilizan seguros y bonos de desastres, hasta fondos de solidaridad social. Proporciona seguridad económica a las poblaciones especialmente en las sequías, las inundaciones, los ciclones tropicales, etc. Compensa las pérdidas y daños en la infraestructura y bienes públicos. Se transfiere el riesgo a los mercados internacionales para garantizar la disponibilidad de fondos públicos.

La GIRD en la política internacional ha estado presente debido a la magnitud de pérdidas por desastres y por el impacto de estos en el crecimiento económico; hechos que han llevado a presentarse en agendas internacionales como: Agenda Río +20, Objetivos de Desarrollo del Milenio, Marco de Acción de Hyogo 2005-2015, Marco de Sendai y Objetivos de Desarrollo Sustentable (Wilkinson y Aragón, 2019 & Leonard, 2019).

Desde el Marco de Acción de Hyogo 2005-2015, se ha enfatizado en la necesidad de reconocer la importancia y especificidad de los patrones y tendencias de los riesgos a escala local, así como la promoción de la GIRD a esta escala debido a que no hay dos comunidades que tengan la misma combinación de exposición a amenazas y vulnerabilidad. Por tanto, se considera que la participación a escala local es relevante para una respuesta adecuada en las políticas, estrategias y planes que se elaboren; así mismo, el enfoque participativo aprovecha la experiencia local en anteriores desastres para poder hacer frente los que vienen (Wilkinson y Aragón, 2019).

Por su parte, el Marco de Sendai, considera el enfoque participativo como un elemento clave de la GIRD para promover una buena gobernanza con la actuación de todos los actores en los planes, políticas y programas, en donde se incluyan las opiniones y percepciones de la comunidad sobre el riesgo (Wilkinson y Aragón, 2019).

El Marco de Sendai, como instrumento sucesor del Marco de Hyogo 2005-2015 se basa en elementos que garantizan la continuidad del trabajo hecho por los Estados y otras partes interesadas en el Marco de Hyogo, en el cual se presentan innovaciones en la GIRD para comprender mejor el riesgo de desastre en todas sus dimensiones (amenaza, exposición y vulnerabilidad) fomentado así la gobernanza del riesgo de desastres en donde se reconozcan las partes interesadas y sus funciones, ejerciendo así la rendición de cuentas para impedir así la formación de nuevos riesgos a nivel local, nacional, regional y mundial; esto con base en cuatro prioridades que deben de ponerse en práctica (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres [UNDRR], 2015):

- Prioridad 1: Comprender el riesgo de desastres (RD).
- Prioridad 2: Fortalecer la gobernanza del RD para gestionar dicho riesgo.
- Prioridad 3: Invertir en la reducción del RD para la resiliencia.
- Prioridad 4: Aumentar la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz y para “reconstruir mejor” en los ámbitos de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción.

Lo anterior está en función del cumplimiento de siete metas que se resumen en la prevención de nuevos riesgos de desastres y reducir los existentes por medio de medidas económicas, jurídicas, sociales, culturales, ambientales, tecnológicas, etc., para así prevenir la exposición a las amenazas y vulnerabilidad a los desastres, mediante la organización para la respuesta y preparación (UNDRR, 2015).

Otro instrumento relevante vinculado con el Marco de Sendai es la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, la cual plantea 17 objetivos (Figura 2.3) con 169 metas de carácter integrado e indivisible que abarcan las esferas social, ambiental y económica; mismos que tienen como antecedente los Objetivos del Desarrollo del Milenio (Centro de Estudios Internacionales Gilberto Bosques, 2017).



Figura 2.3. Objetivos del Desarrollo Sostenible.
Fuente: ONU, 2015.

El Marco de Sendai se encuentra vinculado con los Objetivos del Desarrollo Sostenible en los siguientes rubros:



Debido a que los impactos de los desastres tanto en países desarrollados como en los que están en vías de desarrollo, estos afectan a los sectores más pobres de la población; por lo que el Marco de Sendai propone desarrollar redes de protección social vinculadas a programas de mejora de los medios de vida, así como el fortalecimiento en el diseño e implementación de políticas inclusivas y mecanismos de protección social mediante la participación comunitaria.



El Marco de Sendai establece reforzar la protección a los medios de vida y los bienes de producción, modificando prácticas agrícolas que se adapten a las condiciones cambiantes climáticas existentes (patrones de temperatura y precipitación) y al riesgo de desastres, ya sea por medio de nuevas tecnologías o la aplicación de métodos tradicionales existentes; permitiendo así la seguridad alimentaria.



Reforzar los sistemas de alerta temprana para la reducción y gestión de los riesgos, el Marco de Sendai propone la construcción de sistemas de salud resilientes y la integración a la reducción de riesgos de desastres la provisión de los servicios de salud, así mismo; la reducción de la mortalidad, la continuidad de los servicios básicos, la disponibilidad de alerta temprana que son objetivos del Marco de Sendai, están vinculados con la salud.



La educación es fundamental en la reducción de las vulnerabilidades y la construcción de la resiliencia ante los desastres, ya que el Marco de

Sendai considera importante la difusión del conocimiento sobre la RRD en todos los niveles educativos; realización de campañas etc. Para promover y garantizar la educación inclusiva y equitativa de calidad, así como promover las oportunidades de aprendizaje para todos.

5 IGUALDAD DE GÉNERO



La equidad de género está vinculada también con el objetivo 4 en función de la educación inclusiva y equitativa, así como en la participación fundamental para la reducción de riesgo de desastre, en sentido el Marco de Sendai propone la necesidad de integrarlas en el diseño, en la dotación de recursos e implementación de políticas, planes y programas en la materia.

6 AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO



Este objetivo es el más relevante en lo relacionado con la gestión del riesgo por sequía ya que tiene como finalidad garantizar el acceso universal al agua potable segura y asequible por medio de infraestructura y protección de los ecosistemas relacionados con este recurso para lograr así mitigar la escasez de agua; en este contexto el Marco de Sendai promueve la integración de la evaluación, representación cartográfica y gestión del riesgo de desastres a la planificación y gestión del desarrollo rural.

11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES



Para lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean seguros, resilientes y sostenibles, el Marco de Sendai ha propuesto mecanismos para asegurar la observancia de las disposiciones relativas al uso de la tierra y la planificación urbana, así como la evaluación de la degradación de las tierras.

15 VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES



La protección, el restablecimiento y el promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, así como la gestión de los bosques, la lucha contra la desertificación, el detener la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad; se encuentra vinculado con el enfoque del Marco de Sendai en donde se propone integrar los ecosistemas a la planificación y al análisis de riesgos.

La vinculación de estos dos instrumentos es un esfuerzo por fomentar el cambio de paradigma en la evaluación y análisis de riesgos desde una perspectiva sistémica; con este fin, la comprensión de los riesgos desde el enfoque sistémico requiere de una descripción dependiente del tiempo de los elementos que interactúan, el nivel de interacción entre estos, así como la naturaleza de los elementos desencadenantes; por lo que los impactos del riesgo sistémico dependen de la rapidez e interacción de las diferentes partes de los sistemas y de cuan extremo es el evento que desencadena el riesgo (UNDRR, 2019).

Así pues, la gobernanza en el riesgo sistémico está referida a acciones, procesos e instituciones (formales e informales) mediante las cuales se implementan decisiones

colectivas; por lo que la gobernanza del riesgo sistémico es definida por la UNDRR (2019) como: *"la totalidad de actores, reglas, convenciones, procesos y mecanismos relacionados con la forma en que se recopila, analiza y comunica la información relevante sobre el riesgo y se toman las decisiones de gestión"* (p.54); por ello, está asociado a la cuestión de cómo permitir que las sociedades puedan beneficiarse del riesgo, mientras se disminuyen las pérdidas o bajas mediante acciones como la evaluación, la comunicación y la gestión del gobierno así como del riesgo. Lo que significa que una gobernanza efectiva debe considerar los elementos interconectados y las interdependencias entre los riesgos individuales (UNDRR, 2019).

El programa de gestión integrada de sequías, el cual es una iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Asociación Mundial para el Agua reconoció la necesidad de proporcionar a los países las directrices para la elaboración de políticas nacionales de la gestión de la sequía, así como planes de prevención a nivel nacional y regional que respalden los principios de esa política; mismas que puedan estar integradas en planes ya existentes de reducción de los riesgos de desastres naturales, de desarrollo sostenible, recursos hídricos, etc. Este tipo de enfoque recompensa a los que no han adoptado medidas adecuadas de gestión de los recursos (OMM y GWP, 2014).

Un segundo tipo de enfoque de las políticas sobre la sequía es la elaboración y aplicación de políticas y planes de prevención, los cuales incluyen marcos de organización y operación antes de la sequía, tratando de fomentar una mayor capacidad institucional centrada en el mejoramiento de la coordinación y colaboración dentro/entre los distintos niveles de gobierno; un tercer enfoque está basado en el desarrollo de programas o medidas intergubernamentales antes del impacto, cuyo objetivo es reducir la vulnerabilidad y los efectos. Estos procesos requieren de voluntad política en los diferentes niveles, así como coordinación en los distintos gobiernos, por lo que esta política nacional puede ser una política aparte o podría contribuir a ser parte de una política nacional orientada a la reducción de los riesgos de desastres con enfoque holístico (OMM y GWP, 2014).

Esta política está conformada por diez procesos que tienen como objetivo servir de modelo o guía (OMM y GWP, 2014):

- 1) Designar una comisión sobre una política nacional de gestión de la sequía.
- 2) Exponer o definir las metas y los objetivos de una política nacional de gestión de la sequía basada en riesgos.
- 3) Recabar la participación de los interesados; definir y solucionar conflictos entre los principales sectores de usuarios de recursos hídricos, teniendo en cuenta las consecuencias transfronterizas.

- 4) Hacer un inventario de los datos y los recursos financieros disponibles y determinar grupos de riesgo.
- 5) Preparar/Redactar los postulados claves de una política nacional para la gestión de la sequía y los planes de prevención conexos, que incluya: La vigilancia, la alerta temprana, y la predicción; la evaluación de riesgos, y repercusiones; así como la mitigación y la respuesta.
- 6) Determinar las necesidades de investigación y subsanar las deficiencias institucionales.
- 7) Integrar la ciencia con los aspectos normativos de la gestión de la sequía.
- 8) Difundir la política nacional para la gestión de la sequía y los planes de prevención conexos y fomentar la sensibilización y el consenso de la población.
- 9) Desarrollar programas de educación para todas las edades y todos los grupos interesados.
- 10) Evaluar y modificar la política nacional de gestión de la sequía y los planes de prevención conexos.

En relación con el paso uno, se debe empezar por el establecimiento de una comisión nacional que supervise y facilite la formulación de la política. Así como la coordinación e integración de las actividades en los distintos organismos gubernamentales en todos los niveles de gobierno y organismos públicos o privados; en este sentido la comisión debe de reflejar una naturaleza interdisciplinar de la sequía y sus efectos (GWP, 2014).

En México, a través de la CONAGUA desde el 2002 inició una colaboración con Canadá y Estados Unidos para crear el sistema de Vigilancia de la sequía en América del Norte, desde entonces ha colaborado con la OMM para la capacitación y el desarrollo de habilidades para el Servicio Nacional de Meteorología (SMN) y áreas técnicas de la CONAGUA que se ocupan de las inundaciones y sequías (López *et al.*, 2018).

En 2013, se puso en marcha el Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE), en la cual se tomó la decisión de diseñar la política nacional contra la sequía pasando

así de un enfoque reactivo a uno proactivo, por lo que se diseñó e implementó un programa con dos componentes principales, el Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación a la sequía (PMPMS) y la Comisión Interministerial (CI) para la atención de la sequía y las inundaciones (López *et al.*, 2018 & GWP, 2014).

El objetivo general de los PMPMS (Figura 2.4) en las cuencas de México es el de instrumentar acciones emergentes para la prevención y mitigación de los efectos causados por el desabasto de agua para consumo humano causado por la sequía; por lo que se establecen acciones para el compromiso de los participantes en la realización de los procesos para afrontar el fenómeno de la sequía (López *et al.*, 2018 & Ortega *et al.*, 2014).

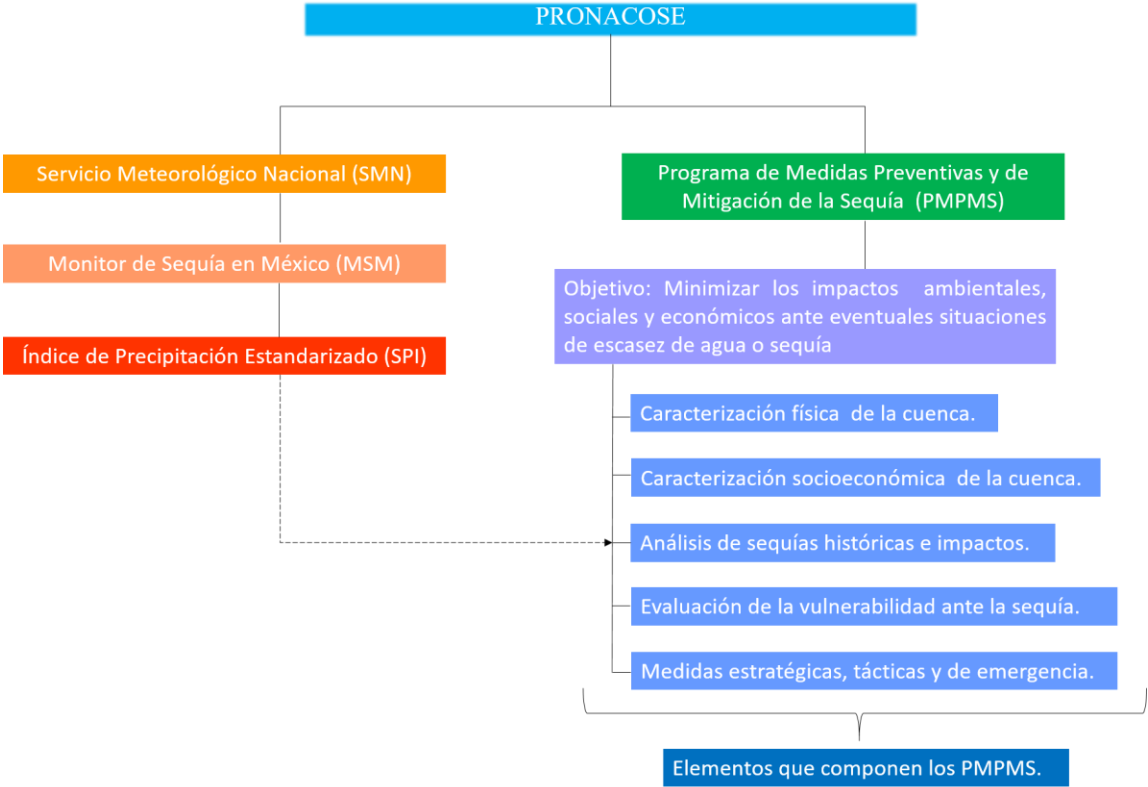


Figura 2.4. Diagrama general del contenido de los PMPMS por cuenca.
Fuente: Elaboración propia con información de Ortega *et al.*, 2014.

Una vez teniendo los lineamientos, las bases legales y reglamentarias de la política nacional contra la sequía de la cual se deriva el PRONACOSE y finalmente los PMPMS a nivel cuenca, los consejos de cuenca tienen el deber de aplicarlos, así como de actualizarlos y evaluarlos con apoyo de la CI; logrando así una descentralización, el fomento a la gobernanza y garantizar la permanencia del programa cuando haya cambio de administración política. Por esta razón, la CI conformada por expertos y grupos de trabajo federales (secretarías) coordinarán las actividades federales hasta llegar a instituciones de nivel local, dan seguimiento y

evaluarán el progreso para retroalimentar los programas (López *et al.*, 2018; Arreguín *et al.*, 2016; y Ortega, 2018).

Actualmente, todos los PMPMS por cuenca han sido completados, también todos los mecanismos de coordinación y asesoría institucional están trabajando, incluyendo la CI, la cual está encargada de revisar la alineación del presupuesto de los programas federales a los criterios del PRONACOSE. Más de 20 programas federales de los 102 relacionados con las actividades de lucha contra la sequía están alineados con las prioridades establecidas en el PMPMS. Además, el comité de expertos define la agenda de investigación, que fue aprobada por la CI con consenso sobre los temas para recibir financiación de varias secretarías, y se ha implementado el sistema de monitoreo temprano (López *et al.*, 2018).

2.2.3 Sequía en México (Una revisión histórica)

México se caracteriza por presentar gran parte de su territorio con un régimen árido y subhúmedo, por lo que los eventos de sequía son importantes en la zona norte del país que presenta una condición árida y semiárida, en donde el fenómeno se agudiza más (Cobo *et al.*, 2010 y Domínguez, 2016), aunque las sequías se registran en todo el país. Por lo que, en este contexto, la sequía en México ha sido recurrente y persistente a lo largo de la historia; si bien no se conocen con certeza las fechas exactas en las que acontecieron, sí se cuenta con registros de periodos secos en el México antiguo (Ortega, 2012).

En la Tabla 2.1, se puede observar que la mayor parte de las sequías en la época prehispánica se concentraron en las regiones centro y norte del país, mientras que, para la región sur, este fenómeno se presentó en pocas ocasiones. Se destaca la sequía en Mesoamérica a principios del siglo XV, precedida por la llegada de Hernán Cortés y la cual se extendió por 26 años, interactuando con las epidemias (Domínguez, 2016).

Tabla 2.1. Porcentajes de sequías en el país durante el México antiguo.

| Región | Periodo | | |
|--------------|------------------|---------------|--------------|
| | Prehispánico (%) | 1521-1821 (%) | 1821-1900(%) |
| Centro | 93 | 48 | 27 |
| Centro-Norte | 7 | 6 | 29 |
| | | 12 | 23 |
| Total | 100 | 66 | 79 |
| Centro-Sur | - | 5 | 14 |
| Sur | - | 7 | 5 |
| Total | - | 12 | 19 |

Fuentes. Domínguez 2016 con información de García Acosta (1993).

Una revisión histórica acerca del acontecimiento relacionado con esta amenaza de índole natural, nos permite ver en perspectiva el vínculo ligado a las condiciones sociales, económicas, culturales e incluso políticas en las que se presentaba el fenómeno de la sequía dependiendo el contexto, provocando así diversos efectos y respuestas de los diversos sectores sociales afectados en distintos periodos; por lo que en este sentido, el estudio de la sequía a través de la historia ha permitido realizar correlaciones entre la ocurrencia de un fenómeno que ha impactado a la sociedad y la política o la forma en que se concibe a la naturaleza misma en la sociedad (García Acosta *et al.*, 2003).

Se trata de entender a la sequía desde un enfoque social, tomando en consideración el análisis de sus consecuencias, así como de las acciones emprendidas desde diversas escalas, teniendo presente la vulnerabilidad no solo social sino también desde el enfoque de la sustentabilidad, ya que también causan problemas ambientales y económicos. Así pues, el fenómeno de la sequía adquiere un significado cultural, por la ausencia o escasez de lluvia y la forma en como nos relacionamos con el entorno (García Acosta *et al.*, 2003 y Oropeza Orozco, 2009).

Sequía en el México prehispánico:

En las sociedades prehispánicas cuya fuente y base principal estaban relacionadas con las actividades agrícolas, una sequía prolongada podía provocar grandes consecuencias en diversos niveles sociales, es decir; no solo las cosechas sufrían los efectos de este fenómeno, sino también a nivel económico y político, llegando a afectar a la “*Nueva España*” en general. En el México prehispánico, se referían a las sequías como: falta de lluvias, escasez de lluvias, retraso de lluvias, excesivo calor; y en casos puntuales como *seca*. También se referían por sus efectos, llegándola a denominar: pérdida de cosechas, carestía, esterilidad, calamidad, miseria, hambre, etc. (García Acosta *et al.*, 2003).

Las grandes civilizaciones prehispánicas se asentaban a orillas de los lagos, por lo que estas civilizaciones aparecían y desaparecían en búsqueda de mejores condiciones de vida y de desarrollo (García Acosta, 1993).

En los registros se ha relatado que entre los años 1000 y 1500 “llovía fuego” o no había lluvias, ocasionando pérdidas en la cosecha de maíz, niveles de agua bajos en los sistemas lagunares, e inclusive en las chinampas solo quedaba la tierra. Cuando la sequía se prolongaba durante dos años o más los efectos se hacían cada vez mayores, llegando a colapsar las diversas culturas prehispánicas (Domínguez, 2016).

Se debe tener en cuenta que gran parte de la cosmovisión del mundo prehispánico estaba enfocada en la agricultura y que, debido a los acontecimientos ocurridos por la sequía, se buscó contrarrestar estos efectos mediante prácticas religiosas y sobrenaturales que influenciaran de manera negativa la sequía.

De manera que, se buscó la forma de registrar los eventos estacionales mediante calendarios en donde quedarán plasmados los ciclos de buenas y malas cosechas, así como realizar ceremonias religiosas y rituales para regular los años agrícolas; dichas prácticas eran coordinadas por los gobernantes, mismos que fijaban la fecha para que comenzaran las tareas agrícolas (Florescano, 1995).

En la Tabla 2.2 se hace una cronología de los eventos de sequía, cómo la denominaban, así como las anécdotas compiladas durante la época prehispánica en la región de Hidalgo

Tabla 2.2. Sequía, seca, escasez de lluvia, calamidades, etc. en el estado de Hidalgo, 1333 – 1809.

| <i>Fecha</i> | <i>Lugar</i> | <i>Denominación de la sequía</i> | <i>Testimonios</i> |
|-------------------|--|---|--|
| 1333 | Hidalgo: Tula | <ul style="list-style-type: none"> - Calamidades - Hambre - Esterilidad - Plaga de gorgojos - Respuesta religiosa - Seca | “Este fin tuvo este imperio de los toltecas, que duró 572 años y viéndolo todo arruinado...Los dichosos reyes volvieron a sus provincias...sus ejércitos murieron de hambre y la misma calamidad corrió por las tierras, porque fue la seca y la esterilidad de la tierra, fue permisión de Dios...La gente comía gorgojo”. |
| 1454 1 conejo | Hidalgo: Tula | <ul style="list-style-type: none"> - Hambre - Malas cosechas - Muertes | “...La gente padeció de hambre a causa de las malas cosechas del año uno conejo...Tres años hubo muerte...” |
| 1635 | Hidalgo: <ul style="list-style-type: none"> - Yeytecomatl - Hueyputla | <ul style="list-style-type: none"> - Epidemia - Malas cosechas - Muertes - Tributos | “Y se hallaron 55 tributarios, ... con la general enfermedad se han muerto la mayor parte, ... de los que han quedado, con las malas cosechas de tres años continuos, se ausentaron... quedando solo 15 que pagaban por el entero de los tributarios”. |
| 1770 - 1771 | Hidalgo: Actopan | <ul style="list-style-type: none"> - Pérdida de cosechas - Mal temporal - Miseria - Falta de lluvias - Cosechas escasas | “Que por escasez de las aguas temporales verificada en la jurisdicción de Actopan y de muchas provincias... es notoriamente pública en ellas él haberseles perdido a los pueblos y naturales absolutamente las cementseras y las cosechas”. |
| 1770 - 1771 | Hidalgo: Actopan | <ul style="list-style-type: none"> - Pérdida de cosechas - Falta de lluvias - Calamidad - Carestía de maíz - Escasez de alimentos - Mal temporal - Miseria - Respuesta autoridades virreinales - Traslado de población | “Juan Fernando Herrera, procurador de indios, digo que la trágica y notoria calamidad... de todos estos pueblos por falta de temporales de aguas y total perdida de sus sembrados y cosechas en los dos años anteriores y la consiguiente carestía de los maíces...Ha compelido a casi la mitad de los individuos a desertar de sus casas y pueblos...vagos en otras jurisdicciones en solicitud de su precioso alimento...” |

Fuente: García Acosta et al., 2003

Tabla 2.2.: Continúa.

Fuente: García Acosta et al., 2003

| <i>Fecha</i> | <i>Lugar</i> | <i>Denominación de la sequía</i> | <i>Testimonios</i> |
|-------------------|---|--|---|
| 1784 - 1785 | Hidalgo: Tetepango | <ul style="list-style-type: none"> - Cosechas escasas - Retraso de lluvias - Muerte de animales - Traslado de población | "...El año pasado de 84 fue muy corta la cosecha de maíz en todo este territorio por la escasez de agua que se padeció...escasez de pasto para mantenimiento de los ganados de que han provenido una excesiva mortandad...Los indios...muchos de ellos han desamparado de sus domicilios". |
| 1785 | Hidalgo: Huichapan | <ul style="list-style-type: none"> - Calamidades - Pérdidas de cosechas - Enfermedades - Escasez de maíz - Falta de lluvias - Muerte de animales - Muertes - Traslado de población Tributos | "Petición de la relevación de tributos por las epidemias y calamidades padecidas en los tres últimos años, causadas por la escasez de lluvias, pérdidas de cosechas. El partido de Huichapan..., siendo de naturaleza árido y no gozando ninguno de aquellos recursos; muertos los ganados por falta de pastos y no habiendo maíz...abandonaron unos sus domicilios, pasando a otras provincias, y los demás salieron al monte a alimentarse...viviendo lo más en la inclemencia, de que ha proveído la peste y mortandad experimentada". |
| 1794 | Hidalgo: <ul style="list-style-type: none"> - San José Tula - San Marcos Xipacoya - Santa Maria Axuchitlán - Santiago Tultengo - San Juan Bautista Michimaloya | <ul style="list-style-type: none"> - Falta de lluvias - Pérdida de cosecha - Tributos | "... Se ha enterado el rey de la solicitud que introdujeron los indios...sobre la releva de tributos de los tercios de agosto y diciembre del año 94 por la escasez de lluvias y pérdidas de cosechas del citado año y de la espera que les concedió la junta superior de la real hacienda". |
| 1809 | Hidalgo: Zimapán | Seca | "Particularidades por la larga seca que se ha experimentado de dos meses a esta parte. Se han perdido los cortos pedazos de maíz...". |

Tabla 2.2.: Continúa

Fuente: García Acosta et al., 2003.

| <i>Fecha</i> | <i>Lugar</i> | <i>Denominación de la sequía</i> | <i>Testimonios</i> |
|--------------|--|---|--|
| 1809 | Hidalgo: Tulancingo | <ul style="list-style-type: none"> - Cosechas escasas - Seca | "...debo informarle que la cosecha de trigo fue escasa... acompañándolas una seca rigurosa". |
| 1809 | Hidalgo: <ul style="list-style-type: none"> - Real del Monte - Atotonilco - El Chico - Pachuca | <ul style="list-style-type: none"> - Carestía - Cosechas escasas - Escasez de maíz | "Es considerable la escasez que de este fruto de primera necesidad (Maíz) se está experimentando en esta jurisdicción..." |
| 1809 | Hidalgo: Apan | <ul style="list-style-type: none"> - Cosechas escasas - Falta de lluvias | "Lluvias sumamente escasas, de modo que, en más de dos meses, hasta el día que ha caído unas cuantas lluvias... De maíz y cebada abundantes, pero con motivo de la larga seca que ha sufrido... están enteramente arruinados". |
| 1809 | Hidalgo: Actopan | <ul style="list-style-type: none"> - Falta de lluvias | "Lluvias: hasta fines del mes de julio que acabó no han faltado las aguas; aunque no en todas partes de la jurisdicción, pero desde entonces acá se han escaseado mucho". |
| 1809 | Hidalgo: Tetepango | <ul style="list-style-type: none"> - Cosechas escasas - Falta de lluvias | "Maíz: la cosecha pendiente será la cuarta parte de algunas haciendas y pueblos por haberse perdido las tres partes por la falta de lluvias..." |

Sequía en el México colonial:

Se reportaron sequías en el Bajío, en Coahuila y en el Valle de México (Flores Cano *et al.*, 1980; García Acosta, 1993 y Domínguez, 2016), durante esta época la sequía más severa en la parte central del México fue entre 1785 y 1786, periodo conocido como el "*año del hambre*", así mismo hubo otro periodo de sequía severa que ocasionó crisis e intensificó movimientos sociales (Méndez, 2010).

En el siglo XIX, las sequías continuaron afectando la agricultura ya que una fracción de la tierra cultivada disponía de sistemas de riego, por lo que la mayoría de los cultivos se hacían en tierras de temporal (Florescano, 1995); eran fenómenos recurrentes que se iban expandiendo al norte del país al mismo tiempo que las civilizaciones ocupaban áreas más extensas (García Acosta, 1993).

Durante esta época, los administradores de las haciendas agrícolas y ganaderas confiaban su abundancia de la cosecha a Dios, a la Virgen de Guadalupe y a santos locales, por lo que la práctica de la fe era vista como un ejercicio normal así como para pagar al cura para exorcizar las amenazas naturales, invocando la protección de santos o vírgenes para que trajeran abundancia de lluvias; sin embargo, cuando las sequías eran severas, los clérigos autorizaban procesiones a la Ciudad de México para así vencer la adversidad (Florescano, 1995).

Durante la independencia, los efectos sociales de la sequía provocaban desempleos en algunas zonas rurales, en minas y en algunas ciudades la migración en busca de mejores condiciones de vida. También, la escasez y la carestía provocaba levantamientos por parte de las clases sociales populares (sectores bajos y medios de la población), convocando a movimientos populares importantes llegando a concluir movimientos históricos trascendentales como la independencia (García Acosta, 1993 y Florescano, 1995).

En la Tabla 2.3 se muestran los estados que presentaron el fenómeno de la sequía, seca y escasez de lluvias en México durante los periodos de 1822-1900.

Tabla 2.3. Estados en México que presentaron el fenómeno de la sequía durante los años de 1822 – 1900.

| <i>Estados</i> | <i>Años</i> |
|------------------|--|
| Aguascalientes | 1857, 1868, 1889, 1891 |
| Baja California | 1886 |
| Campeche | 1850, 1882, 1888, 1889, 1891 |
| Chiapas | 1868, 1887, 1889, 1895, 1899 |
| Chihuahua | 1851, 1882, 1883, 1884, 1886, 1888, 1889, 1890, 1891, 1892, 1896, 1898, 1899 |
| Coahuila | 1823, 1826, 1831, 1847, 1849, 1850, 1851, 1853, 1862, 1863, 1868, 1877, 1882, 1883, 1884, 1887, 1892, 1894, 1896, 1898, 1899 |
| Colima | 1874, 1882, 1883, 1894 |
| Distrito Federal | 1828, 1830, 1835, 1836, 1862, 1863, 1868, 1877, 1878, 1882, 1893 |
| Durango | 1849-1851, 1853, 1884, 1890, 1891, 1894, 1899 |
| Estado de México | 1843, 1867-1868, 1875, 1885, 1886, 1887, 1890, 1892 |
| Guanajuato | 1830, 1840, 1841, 1849, 1857, 1858, 1863, 1864, 1866, 1873, 1877, 1880, 1883, 1885, 1886, 1891, 1892, 1895, 1897, 1898 |
| Guerrero | 1841, 1864, 1868, 1882, 1886, 1889, 1890, 1894, 1895, 1896 |
| Hidalgo | 1843, 1873, 1875, 1876, 1884, 1885, 1889, 1890, 1895, 1896, 1900 |
| Jalisco | 1842, 1849, 1850, 1851, 1859, 1863-1864, 1890, 1895 |
| Michoacán | 1863-1864, 1877, 1882, 1883, 1890, 1891, 1892, 1896, 1897, 1898 |
| Morelos | 1849, 1884, 1885 |
| Nayarit | 1877 |
| Nuevo León | 1831, 1838, 1846, 1850, 1851, 1858, 1860, 1863, 1868, 1872, 1874, 1882, 1883, 1885, 1886, 1887, 1888, 1890, 1891, 1892, 1896, 1897, 1899 |
| Oaxaca | 1836, 1837-1838, 1863, 1868, 1882, 1884, 1885, 1890, 1896, 1899, 1900 |
| Puebla | 1854, 1883, 1885, 1890, 1899 |
| Querétaro | 1848, 1851, 1852, 1853, 1854, 1879, 1881, 1882, 1885, 1887, 1888, 1889, 1890, 1891, 1892 |
| San Luis Potosí | 1822, 1828, 1831, 1851, 1867, 1869, 1870, 1875, 1877, 1882, 1887, 1888, 1889, 1891, 1892, 1894, 1895, 1896, 1898, 1899 |
| Sinaloa | 1857, 1877, 1880, 1882, 1883, 1885, 1886, 1890, 1891, 1893 |
| Sonora | 1878, 1880, 1881, 1883, 1886, 1887, 1890, 1891, 1892, 1895 |
| Tabasco | 1854, 1858, 1891, 1896 |
| Tamaulipas | 1879, 1880, 1881, 1882, 1884, 1886, 1889, 1891, 1892, 1893, 1895, 1896, 1898, 1899 |
| Tlaxcala | 1883, 1896 |
| Yucatán | 1822, 1823, 1834, 1837, 1842, 1850, 1881, 1882, 1884, 1887, 1888, 1890, 1896 |
| Veracruz | 1842, 1843, 1849, 1854, 1860, 1868, 1877, 1878, 1879, 1880, 1882, 1883, 1884, 1885, 1886, 1887, 1890, 1892, 1896, 1897, 1898, 1899 |
| Zacatecas | 1826-1828, 1850-1851, 1852, 1875, 1881, 1883, 1885, 1889, 1891, 1892 |

Fuente: García Acosta *et al.*, 2004.

Para esa época los reportes encontrados para el estado de Hidalgo y para el municipio de Huichapan eran de inundaciones y escasez de lluvias (Tabla 2.4).

Tabla 2.4. Sequía e inundaciones en el estado de Hidalgo, 1843 – 1897.

| <i>Fecha</i> | <i>Lugar</i> | <i>Fenómeno</i> | <i>Testimonios</i> |
|--------------------|--|----------------------|--|
| 1843 | Hidalgo; Estado de México; Veracruz: Tuxtla | – Sequía | |
| 1887 Junio | Hidalgo: Hacienda de Sn. Francisco | – Inundación | “Una creciente formidable de agua creció en el río que cruza la hacienda de Sn. Francisco, destruyó varias casas y rompió la presa y el puente; el agua alcanzó una altura de 15 m”. |
| 1888 1-5 Julio | Hidalgo: – Huichapan – Río Tecozautla | – Inundación | “En uno de los días que van del 1 al 5, el agua pluvia hizo crecer el río Tecozautla, al grado de desbordarse del cauce, las cementeras se inundaron y ocasionaron grandes pérdidas.” |
| 1897 Septiembre | Hidalgo: – Actopan – Apan – Cardonal – Cardonal – Huichapan – Ixmiquilpan – Metztitlán – Tizayuca – Zimapán | – Escasez de lluvias | “En Actopan no se pudo cultivar nada... por no haber llovido en tiempo oportuno. En Apan a consecuencia de la falta de lluvias están en delicado estado labores, pues las lluvias no han sido uniformes. En Ixmiquilpan no se hizo ninguna siembra (de temporal) por haber venido tarde las lluvias. En el Cardonal el estado de las siembras es malísimo por la escasez de lluvias. En Metztitlán la cosecha de frijol... fue de una tercera parte por falta de agua. En Tizayuca, las siembras se encuentran en mal estado, casi en su totalidad de pérdidas”. |

Fuente: García Acosta et al., 2004.

La sequía en el México actual:

A principios del siglo XX la sequía se hizo presente en todo el territorio nacional, particularmente en la región norte del país (donde se considera que se gestó la revolución); que si bien, estos hechos políticos fueron los factores que desencadenaron este movimiento civil, el fenómeno de la sequía tuvo participación al agravar las condiciones del campo impulsando la lucha campesina (Ortega y Velasco, 2013).

Durante todo el siglo XX hubo una tendencia creciente del fenómeno de la sequía en México, la cual se ha prolongado desde 1930 hasta la fecha; los estados del territorio nacional que históricamente han sido afectados por las sequías y donde se presenta con mayor frecuencia son: Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Baja California, Sonora, Sinaloa, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Tlaxcala (Tabla 2.5); se reportó que fueron sequías extremadamente severas (CENAPRED, 2001, Ortega & Velasco, 2013 y Domínguez, 2016).

Tabla 2.5. Categorización de las sequías ocurridas en el periodo de 1948 a 1996.

Fuente: Adaptado de CENAPRED, 2011.

| <i>Estado</i> | <i>Periodo</i> | | | |
|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | <i>1948-1954</i> | <i>1960-1964</i> | <i>1970-1978</i> | <i>1993-1996</i> |
| Aguascalientes | | | | |
| Baja California | | | | |
| Baja California Sur | | | | |
| Campeche | | | | |
| Chiapas | | | | |
| Chihuahua | | | | |
| Coahuila | | | | |
| Colima | | | | |
| Distrito Federal | | | | |
| Durango | | | | |
| Guanajuato | | | | |
| Guerrero | | | | |
| Hidalgo | | | | |
| Jalisco | | | | |
| México | | | | |
| Michoacán | | | | |
| Morelos | | | | |
| Nayarit | | | | |
| Nuevo León | | | | |
| Oaxaca | | | | |
| Puebla | | | | |
| Querétaro | | | | |
| Quintana Roo | | | | |
| San Luis Potosí | | | | |
| Sinaloa | | | | |
| Sonora | | | | |
| Tabasco | | | | |
| Tamaulipas | | | | |
| Tlaxcala | | | | |
| Veracruz | | | | |
| Yucatán | | | | |
| Zacatecas | | | | |
| <i>Categoría de la sequía</i> | No afectó | Regular | | Severa |

La sequía acontecida en los años 1948 hasta 1958, perjudicó la región centro-norte del territorio nacional; las sequías ocurridas en el periodo de 1960 hasta 1970 provocaron crisis en el sector de la agricultura, posteriormente transmitieron sus efectos al sector social y económico. Entre 1972 y 1977, las sequías se relacionan con otras que han ocurrido a escala global que repercutieron en Oceanía, Asia y América (Domínguez, 2016).

Las sequías de 1960 hasta 1970 al afectar inicialmente en el sector de la agricultura, el gobierno implementó acciones como la importación de grandes cantidades de cereales y alimentos para atender de manera inmediata las zonas de desastres, siendo en las zonas más críticas en donde se emplearon créditos y plazos de pago a los agricultores; así mismo se construyó infraestructura como presas, bordos y aguajes, incrementaron la dotación de agua a población y ejidos. En 1969, se aplica el Plan de Lucha contra las sequías, cuya finalidad era proporcionar trabajo a los desempleados de la zona de desastre, así como el préstamo a la Secretaría de Agricultura y Ganadería para ampliar los plazos de cobertura de los cultivos, esto como parte de la implementación del Programa Nacional Agropecuario, el cual buscaba mitigar la situación provocada por la sequía, mismo que duró hasta 1970 (Domínguez, 2016).

En los periodos mencionados anteriormente, inicia la sobreexplotación de los acuíferos subterráneos, mismos que eran promovidos por los funcionarios y la propia política del agua, como medida reactiva para disminuir los impactos de la sequía; por lo que las sequías son integradas en el Plan Nacional Hídrico (PNH) que para el año 1975 solo era referida la falta de agua para la zona norte (Domínguez, 2016).

Para 1985, en el PNH, la sequía encontró un apartado de fenómenos extremos, esto para referenciar las sequías de los últimos 40 años; De 1991-1994 se comenzó a racionar el agua en épocas de estiaje, para atenuar los efectos de la sobreexplotación por medio de compromisos entre usuarios y operadores, sin tomar en consideración los impactos del fenómeno de la sequía en la sociedad (Domínguez, 2016).

Actualmente, los avances en el conocimiento de la variabilidad climática han propuesto modelos de monitoreo del fenómeno de la sequía y se han tratado de explicar sus causas, llegando a plantear que durante los siglos XX y XXI, este peligro aumenta cuando las anomalías en la temperatura de la superficie del mar generan cambios en los patrones de circulación atmosférica, llevando a condiciones como es el fenómeno de El Niño, el cual tiene grandes impactos en la variación de las precipitaciones (Magaña y Gay, 2002. y Magaña *et al.*, 2018.) o por consecuencia de la actividad antropogénica que propicia un aumento en las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera, provocando modificaciones en esta y teniendo como consecuencia una alteración en la temperatura promedio global (Magaña y Neri, 2012).

Las sequías de 1995-2000 habían impactado el norte del país, específicamente las cuencas de los ríos Nazas y Bravo; fueron definidas como fenómenos recurrentes que se presentaban en promedio cada 10 años, con duración de 1 a 3 años consecutivos, para 2001-2006 se reconocía en el PNH que las sequías eran un factor que agravaba el suministro, disponibilidad de agua superficial y recarga de acuíferos al reconocerse que había niveles críticamente bajos de agua *per cápita*; así como su repercusión en la población y actividad económica en la región centro, norte y noreste del país; las causas de la sequía se atribuían a las alteraciones de los patrones de circulación atmosférica, ocasionados por el desigual calentamiento de la corteza terrestre y de los mares, manifestándose en fenómenos como El NIÑO. Este programa planteaba disminuir los riesgos y atender los efectos de las sequías, así como de las inundaciones, al aumentar la capacidad del Estado al transitar de un sistema de protección civil reactivo a uno preventivo (Domínguez, 2016).

Los porcentajes de área afectada por el fenómeno de la sequía registrado entre los años 2000, 2003, 2006, 2011 y 2012 (Figura 2.6); impulsaron al PNH 2007-2012 a plantear el objetivo de prevenir los riesgos derivados de los fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos, así como atender sus efectos con estrategias que consistían en formular planes de prevención que permitieran afrontar con herramientas los periodos de sequía (Domínguez, 2016).

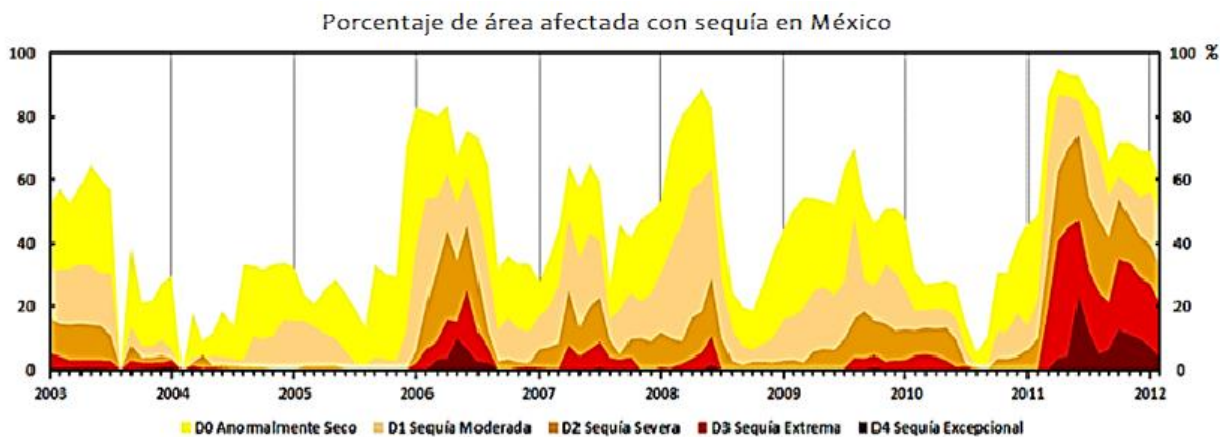


Figura 2.6. Eventos de sequía registrados de 2003 a 2012, en México.

Fuente: Monitor de Sequía en México, 2012.

Las sequías ocurridas entre el 2009 y el 2010 pasaron casi inadvertidas para el país; sin embargo, se encontró que había trabajadores rurales en riesgo ya que la mayoría no se recuperaba de los efectos de la sequía del 2009, esto ocasionó la pérdida de 700 000 ha lo que se traduciría en mayor inversión pública. La sequía del 2011 fue considerada como la peor, ya que afectó los estados del norte y centro del país y es considerada como la más importante en las últimas décadas ya que incidió en el 60%

del territorio nacional ocasionando que 2 millones 500 mil personas que habitaban 1,507 comunidades carecieran de agua potable (Domínguez, 2016) y fue considerada como extrema en 120 municipios urbanos de 15 estados (Chihuahua, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Hidalgo, México, Michoacán, Nuevo León, Querétaro, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas) de las 32 entidades federativas (Pineda y Salazar, 2016).

Durante el periodo 2004 al 2018, ha ocurrido un evento de sequía registrado en el 2012 (Figura 2.7) reconocido como moderado, el cual cubrió poco más del 80% del territorio, si bien no hay registros acerca de los impactos que ha ocasionado, se debe considerar que en noviembre de ese mismo año el gobierno federal por medio del Diario Oficial de la Federación, emitió los lineamientos que establecen los criterios y mecanismos para los acuerdos de carácter general en situaciones de emergencia por ocurrencia de sequía, así como las medidas de mitigación y prevención, a partir de esta política surge el PRONACOSE, el cual se orienta a desarrollar acciones para actuar oportunamente ante este fenómeno; de este programa se deriva el monitoreo de la sequía y los PMPMS (Ortega, 2014).

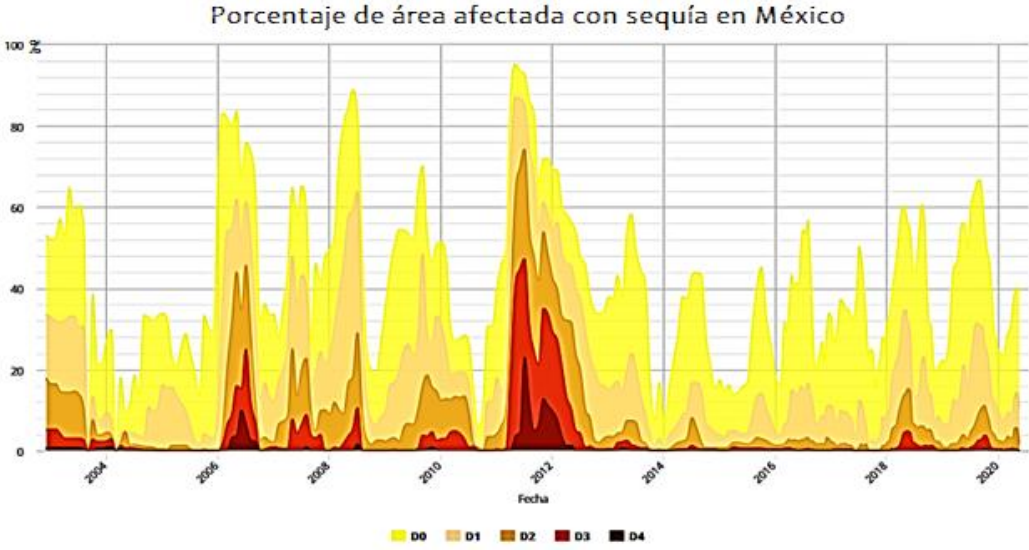


Figura 2.7. Porcentaje de área afectada por el evento de sequía registrados del 2003 -2020.

Fuente: MSM, 2020.

2.2.4 El fenómeno de la sequía en el municipio de Huichapan, Hgo.

De los 84 municipios pertenecientes al estado de Hidalgo, 72 han presentado alguna condición de sequía; entre los cuales se incluye el municipio de Huichapan.

Tomando en consideración los datos proporcionados por el Monitor de Sequía en México, el registro del fenómeno de la sequía y su categorización se comienza a partir de la fecha del 2003; así pues, durante el año anteriormente mencionado y hasta el año 2020 (Tabla 2.6), el municipio de Huichapan ha presentado diferentes condiciones de sequía, siendo la de anormalmente seco (D0) y sequía moderada (D1) las categorías que más se registran en el territorio.

Durante el periodo del 2011, el municipio presentó una condición de sequía extrema, misma que fue evolucionando a partir del mes de marzo en la que se presentó la de sequía moderada (D1), durante los meses de abril a mayo esta condición evolucionó a la categoría de sequía severa (D2) y en el mes de junio, el municipio presentó la de sequía extrema (D3); para los meses de julio a agosto, fue disminuyendo la categoría de sequía a D2 y posteriormente en el mes de septiembre a D1. A finales del 2011 e inicios del 2012 el municipio presentó condiciones de sequía D1, misma que disminuyó a D0.

Para los años subsiguientes, la categoría D0 fue la condición más persistente en el territorio, seguido de las categorías D1 y una categoría D2 en los meses de marzo a mayo.

Tabla 2.6. Categorización de las sequías en el municipio de Huichapan, Hgo, en los años 2003 a 2020.

| Categorización anual de la sequía en el municipio de Huichapan, Hidalgo. | | | | | |
|--|------------|--|---|---------------------------|--|
| Periodo de ocurrencia | | Tipo de sequía de acuerdo con el M.S.M | Periodo de ocurrencia | | Tipo de sequía de acuerdo con el M.S.M |
| Año | Mes | | Año | Mes | |
| 2003 | Ene - Mayo | | 2013 | Abr - Jul | |
| 2005 | Jun - Jul | | 2014 | Junio | |
| 2005 | Diciembre | | 2014 | Noviembre | |
| 2006 | Enero | | 2016 | Abr - Mayo | |
| 2006 | Feb - Abr | | 2017 | Ene - Mar | |
| 2006 | Mayo | | 2017 | Abr - Ago | |
| 2006 | Junio | | 2018 | Ene - Feb | |
| 2006 | Julio | | 2018 | Mar - Mayo | |
| 2006 | Octubre | | 2018 | Jun - Dic | |
| 2007 | Enero | | 2019 | Ene - Abr | |
| 2008 | Mar - Ago | | 2019 | Mayo - Dic | |
| 2009 | Jun - Jul | | 2020 | Ene - Abr | |
| 2009 | Agosto | | 2020 | May - Jul | |
| 2011 | Marzo | | 2020 | Sep - Oct | |
| 2011 | Abr - Mayo | | 2020 | Nov - Dic | |
| 2011 | Junio | | Clasificación de la sequía de acuerdo con el M.S.M | | |
| 2011 | Jul - Ago | | D0 | Anormalmente seco | |
| 2011 | Septiembre | | D1 | Sequía moderada | |
| 2011 | Oct - Dic | | D2 | Sequía severa | |
| 2012 | Enero | | D3 | Sequía extrema | |
| 2012 | Febrero | | D4 | Sequía excepcional | |

Fuente: Elaboración propia con información del MSM, 2020.

De las sequías que se llegan a manifestar dentro del municipio, la mayoría ocurre durante las épocas de primavera-verano, épocas en las que se relacionan con la temporada de lluvias, éstas son aprovechadas para la recarga de cuerpos de agua superficiales, preparación de la tierra para la siembra, cosechas y diversas actividades relacionadas con otros sectores como son el turismo, por mencionar algunos.

A manera de conclusión de los dos capítulos anteriores se menciona que el presente trabajo aborda el fenómeno de la sequía meteorológica como una amenaza de origen natural de inicio lento y progresivo, la cual se presenta en un tiempo determinado, cuya intensidad también dependerá de las exigencias de las actividades humanas y de la vegetación por el aprovechamiento del recurso hídrico disponible. Al ser la sequía un fenómeno de origen hidrometeorológico debe considerarse que su periodo de ocurrencia puede desencadenar otras amenazas en los ámbitos ambientales, sociales y económicos; convirtiendo así a la sequía meteorológica en un riesgo.

El tipo de clima en el municipio de Huichapan muestra un régimen de lluvias en los meses de mayo a octubre; sin embargo, la ausencia de estas ha ocasionado algunas repercusiones reportadas comúnmente en el sector agrícola. De las 90 localidades que hay en el territorio, 87 son rurales y más del 96% del municipio presenta un uso de suelo agrícola (temporal y riego). Con relación a la agricultura de riego, el 73.6 % del total de agua subterránea está concesionada a este sector, seguido del sector público-urbano con el 13 % y el resto de los sectores con el 3.1 % dividido en 2.8 para el sector industrial y el 0.2% para los servicios. Teniendo en cuenta los datos anteriores, estas concesiones se están convirtiendo en una problemática como se reporta en el reciente ordenamiento territorial realizado para el municipio: el principal problema está en función del aprovechamiento del agua tanto subterránea como superficial.

En términos de aprovechamiento hídrico superficial, el municipio no cuenta con la infraestructura adecuada para este recurso, ya que carece de ella para el manejo y aprovechamiento de agua pluvial, de saneamiento para aguas residuales y de alcantarillado, lo que ocasiona que algunas localidades viertan sus desagües a áreas naturales como son los barrancos.

En este tenor, la nula implementación de programas que fomenten el aprovechamiento, la conservación y el saneamiento de aguas superficiales, así como un programa de ordenamiento el cual no está terminado y actualizado al contexto del municipio; son elementos claves que, desde la perspectiva de la GIRD, la población que habita en Huichapan presente un grado de exposición y por consiguiente sea vulnerable a eventos de origen meteorológicos como es el caso de la sequía meteorológica. Adicional a lo anterior, debido a la gran extensión de cobertura destinada al sector agrícola y a las pocas áreas destinadas a la conservación de los recursos naturales, se pone en juego el funcionamiento de los servicios ambientales que estos otorgan a la población; por lo que, en este aspecto, la vulnerabilidad socioambiental está condicionada al grado de exposición al que están sujetos estos dos sectores (social y ambiental), en función de las capacidades para afrontar eventos como la sequía.

Para identificar la vulnerabilidad socioambiental, se consideró como unidad de análisis espacial, la microcuenca El Molino, siguiendo el enfoque de sistemas complejos; por lo que la microcuenca será analizada como un sistema. A su vez, al interior de la cuenca se utilizarán como unidades de análisis espacial a los geosistemas, ya que estos representan a los subsistemas (natural, social y económico) que interactúan en el sistema territorial de la microcuenca.

Lo anterior concede a la microcuenca como una unidad de análisis para fomentar la planificación territorial que promueva una eficaz gestión de los recursos naturales, del recurso hídrico, el cambio de uso de suelo, etc. de manera sustentable y que esté vinculada con instrumentos normativos nacionales (POET, PMD, PMPMS, etc.) e internacionales (Agenda 2030, Marco de Sendai, etc.) por medio del diseño de

estrategias o lineamientos que conduzcan a la elaboración de políticas públicas que influyan en la Gestión Integral del Riesgo de Desastres.

CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN SOCIO - AMBIENTAL DE LA CUENCA “El Molino”

3.1 ¿Qué nos permite hacer una caracterización?

La caracterización socio-ambiental de la cuenca El Molino, nos permite conocer aspectos de los elementos que componen el sistema ambiental y el socioeconómico del territorio con la finalidad de comprenderlo de forma holística; este enfoque, facilita el desarrollar de forma organizada, descriptiva y medible, hasta donde sea permisible cada uno de los recursos (capital natural y social) que componen el patrimonio territorial; esto con el propósito de conocer las condiciones de uso y degradación a los que están sometidos los recursos por influencia directa e indirecta de agentes y/o factores de presión involucrados.

En este sentido y englobado en el marco del desarrollo sostenible de la agenda 2030, resulta relevante parametrizar cuantitativa y cualitativamente los aspectos naturales y sociales que componen dicho patrimonio; del mismo modo, la caracterización territorial forma parte en el proceso de construcción de una línea base de información, que de acuerdo con Vega Mora (2002) está definida como un proceso dinámico en la recolección, organización y sistematización de la información para la gestión del desarrollo territorial.

La descripción de estos elementos ambientales y sociales que conforman el territorio son relevantes, ya que al interrelacionarse dan origen a posibles factores que pueden ser considerados como desencadenadores del riesgo; ya que al relacionar el medio físico y su estado de degradación, con los elementos socioeconómicos como son el crecimiento demográfico, la distribución de la población, la migración, la infraestructura y el uso del suelo; se convierten en elementos vulnerables ante una amenaza de origen natural como son, en este caso, las sequías.

Así, el Identificar y, por consiguiente, realizar un mapeo en donde se reconocen los diversos componentes que integran el sistema natural y social, constituyen un primer paso esencial para el desarrollo de estrategias que permitan llevar a cabo una Gestión Integral de Riesgos de Desastres (GIRD).

Lo anterior, da pauta para que las instituciones elaboren perfiles de riesgo basados en la transparencia de la información, participación con implicaciones ambientales de forma inclusiva y abierta.

En este contexto, con esta caracterización, como ya se señaló, se busca comprender de forma holística el funcionamiento del territorio y su vínculo con las amenazas de origen natural para aprovecharlos en los procesos de evaluación de vulnerabilidades y capacidades para la GIRD, esto como parte de los principios rectores y de prioridades de acción que engloba el *Marco de Sendai para la Reducción de Riesgos de Desastres 2015 - 2030*. Así mismo, se busca integrar Marcos Internacionales al contexto local como parte de un ejercicio de fomentar la responsabilidad de funciones compartidas de escala global hasta lo local en términos de elaboración de planes, políticas y otros instrumentos que sean coherentes entre las agendas internacionales, nacionales y locales.

Finalmente, esta caracterización es un paso al proceso de creación de una base de datos que finalmente promueva el intercambio abierto, la divulgación de datos desglosados hasta donde sea permisible, acceso a la información de forma abierta, actualizada comprensible, con base científica y no confidencial en conjunto con los conocimientos tradicionales que fomente la toma de decisiones de forma inclusiva para la prevención del riesgo de desastres a través de acciones públicas o privadas basadas en información fiable. Así mismo, la caracterización servirá de base para contextualizar el fenómeno de la sequía en la zona de estudio.

3. 2 Localización del área de estudio: Aspectos ambientales y sociales

3.2.1. Ubicación del área de estudio

La cuenca del río El Molino (Figura 3.1), se encuentra en el estado de Hidalgo, sus coordenadas geográficas extremas son: -99°.63 latitud norte, -99°.59 latitud sur, -99°.53 longitud este y -99°.66 longitud oeste. Cuenta con una superficie de 227.93 km², la mayor parte corresponde al municipio de Huichapan. Dos pequeñas porciones, una situada al Norte, pertenece al municipio de Tecozautla, prácticamente donde el río Pathecito confluye con el de El Molino y otra, en el Sur, en la parte alta de la cuenca, pertenece al municipio de Nopala de Villagrán.

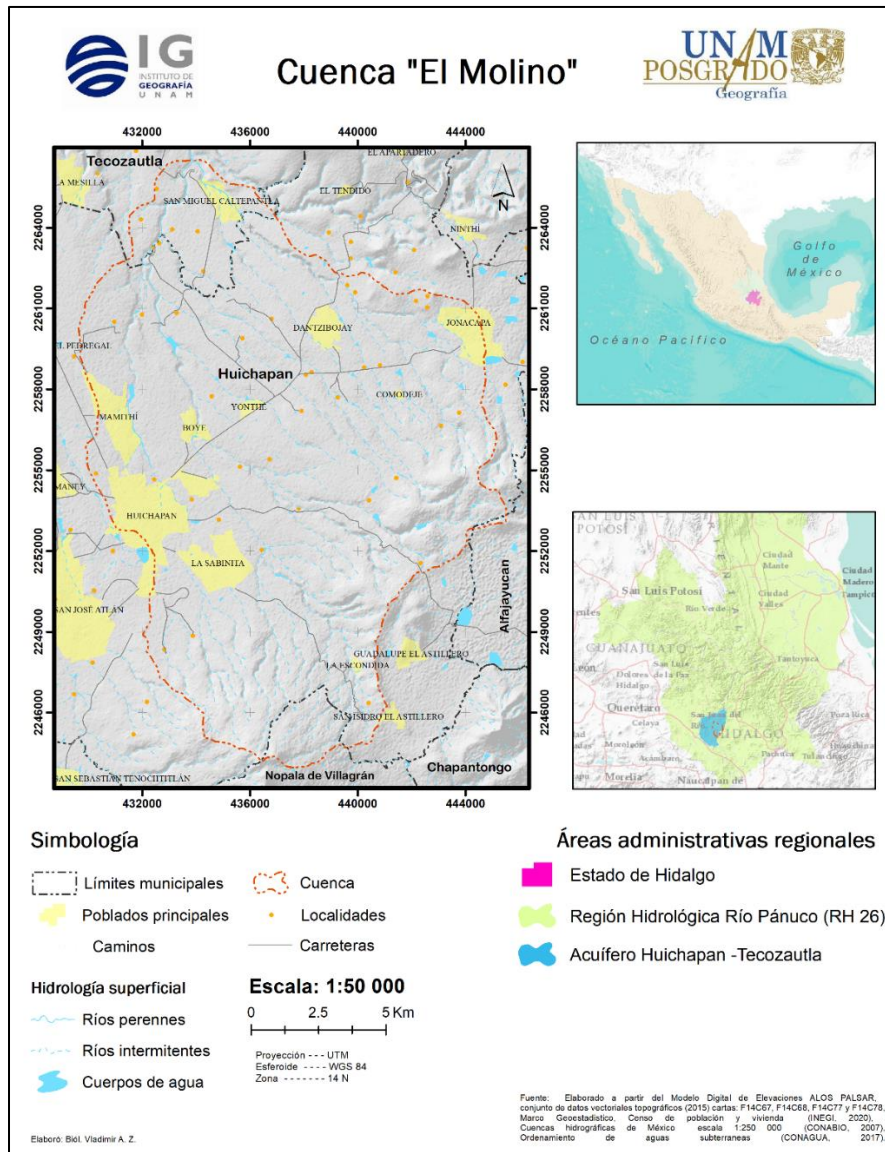


Figura 3.1. Localización de la cuenca El Molino.

A su vez, la cuenca está dentro de los límites del Acuífero de Huichapan-Tecoautla (clave 1307), localizado en el centro-occidental del estado de Hidalgo, colinda hacia el norte y occidente con el Estado de México y Querétaro, cuenta con una superficie de 1,448 km², pertenece a la Región Hidrológica 26 Pánuco, en la subregión Bajo Pánuco y a la cuenca hidrológica Río San Juan, en la subcuenca que conforman los ríos Tecozautla y San Francisco-Hondo (CONAGUA, 2020 & IGH, s.f.). Ambos ríos escurren en dirección sur a norte hasta su confluencia con el río San Juan (mismo que sirve de límite estatal y del acuífero), éste desemboca en la Presa Zimapán donde se une al río Tula y posteriormente cambia su denominación a río Moctezuma (CONAGUA, 2020).

Las principales localidades urbanas de la cuenca son: Huichapan (cabecera municipal y polo más importante de la región), La Sabinita, Mamithí, Boyé y Yonthé, San Miguel Caltepanitla, Jonacapa, Dantzibojay, Comodeje y La Escondida.

De acuerdo con los criterios del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la cuenca se considera como una región rural, esto tomando en consideración que, dentro de ella, la población de la mayoría de las localidades no es mayor a 2,500 habitantes. Existen 15 localidades rurales, las que cuentan con más de 500 y menos de 1,000 habitantes son: El Pedregoso, Vitejhé, Maxtha, Zequetejé, Sabina Grande y Taguí; las localidades con menos de 500 habitantes y más de 100 son: Bothé, Joñhe, Santa Bárbara, Monte Alegre, Zamorano, Dothí, Taxquí, El Gavillero y San Mateo.

3.2.2 Relieve y topografía

El relieve que presenta la cuenca está conformado por estructuras volcánicas localizadas en la parte sur, estas estructuras forman parte del límite natural; en esta zona se encuentra el volcán que lleva por nombre La Estancia (2, 800 m.s.n.m), en la zona sureste se localiza el labio exterior de la Caldera Huichapan, dentro de ella se albergan otras estructuras volcánicas que llevan por nombre cerro El Sombrerete (2, 600 m.s.n.m) y cerro Los Pelones (2, 600 m.s.n.m). En la zona oriental se encuentra un aparato volcánico denominado cerro Ixcabondha (2, 500 m.s.n.m), ahí mismo también se ubican dos cerros más que llevan por nombre cerro La Trampa (2, 500 m.s.n.m) y Las Cabras (2, 600 m.s.n.m); estas estructuras están mediana y fuertemente disectadas por valles erosivos. Cabe señalar que, tanto la estructura volcánica del cerro de La Estancia y la Caldera Huichapan son los rasgos orográficos más notables en la cuenca.

En el centro-norte de la cuenca, se puede apreciar un relieve relativamente homogéneo, caracterizado por valles erosivos con disecciones medias y fuertes.

En el mapa topográfico (Figura 3.2) se muestran los rasgos más sobresalientes que dan origen al relieve que conforma la cuenca.

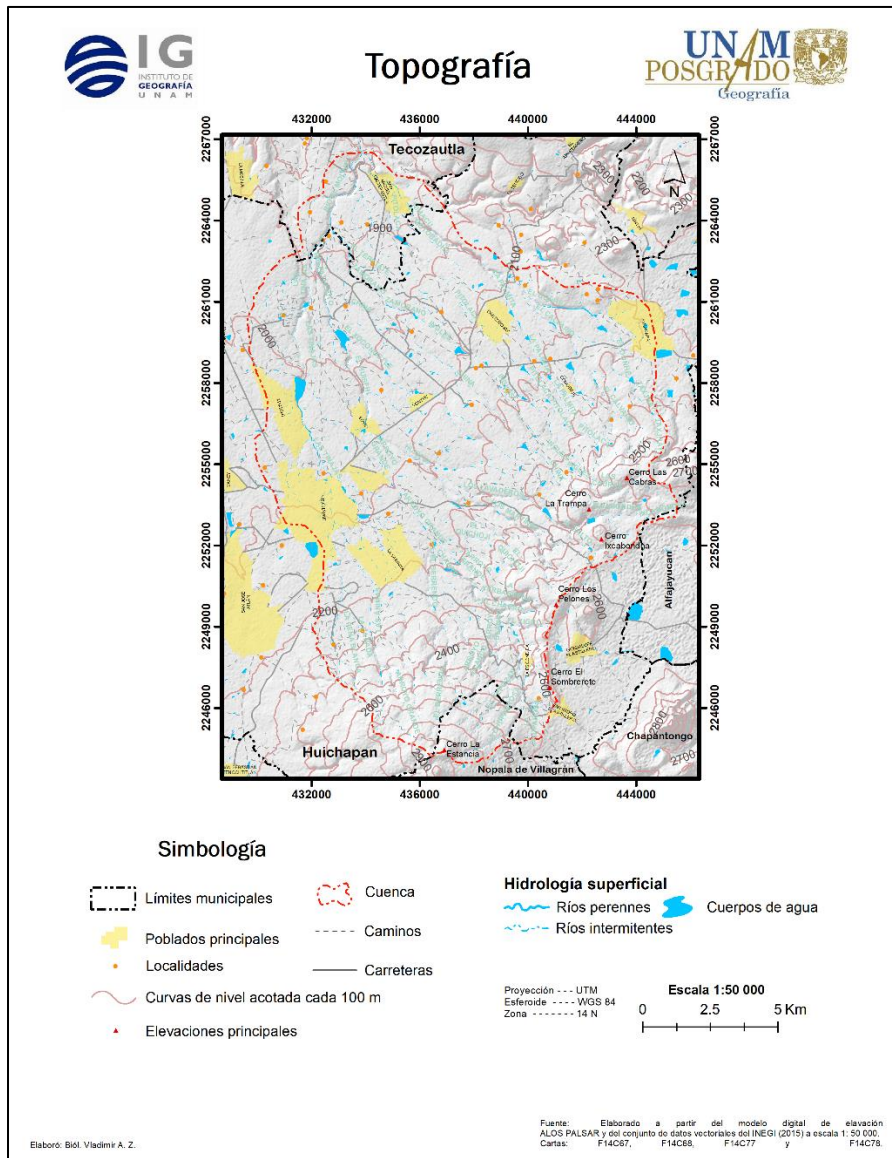


Figura 3.2. Topografía de la cuenca El Molino.

3.2.3 Hipsometría

La observación de las diferentes clases hipsométricas o altitudinales permite analizar el comportamiento de la temperatura y la precipitación, así como la relación que tienen estos dos elementos con la geomorfología, la distribución de la vegetación y los diferentes usos de suelo presentes en la cuenca.

El mapa hipsométrico (Figura 3.3) de acuerdo con la disposición de las curvas de nivel en el terreno, resaltan, en un primer plano, la configuración del relieve y en segundo, la influencia de las altitudes sobre este, formando así un modelo que

representa las elevaciones tomando como referencia las cotas mínimas y máximas de las curvas de nivel. En la cuenca existe un desnivel de 1, 320 metros, entre el punto más bajo (1, 700 m.s.n.m.) al Norte y el más alto (3, 020 m.s.n.m.) al Sur.

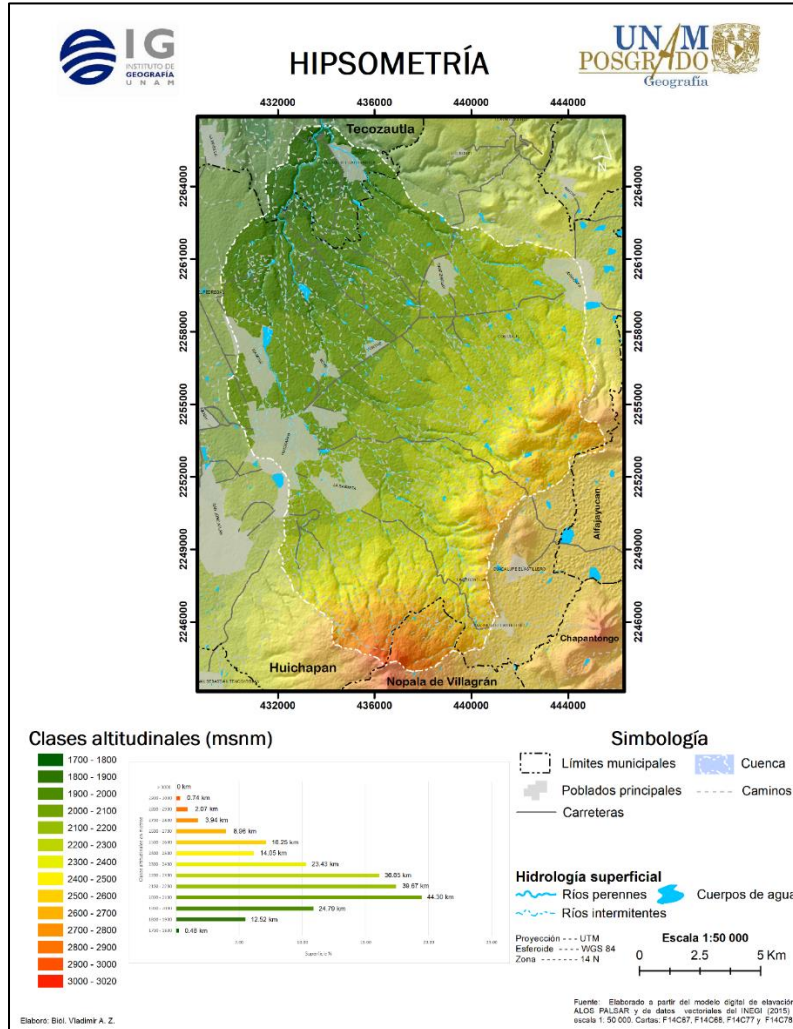


Figura 3.3. Mapa hipsométrico de la cuenca El Molino.

Las altitudes menores entre las categorías de 1, 700 – 1, 800 m.s.n.m., se localizan en la parte norte, donde confluyen las corrientes provenientes de la zona sur con el río El Molino, esta área representa el 5% (0.48 km²) de la superficie total de la región.

El piso altitudinal de los 1, 800 – 1, 900 metros sobre el nivel del mar, cubre un poco más del 5% (12.52 km²) de la superficie del área de estudio, en esta zona se puede apreciar el comienzo de la ramificación del río El Molino con el río Pathecito al noroeste y el arroyo Nimacú localizado en el noreste; en este mismo punto está asentada el área urbana de San Miguel Cantepantla.

El tercer piso altitudinal corresponde a las cotas de 1, 900 – 2, 000 metros, cuenta con una superficie mayor al 10% (24.79 km²); presenta un piedemonte disectado por el río Las Tinajas y los arroyos El Huisfí, El Xoconostle, China, Zamorano, Tepetate, Pitolaca, Motobadha y Nimacú con dirección al noreste.

De los 2, 000 – 2, 100 metros de altitud representa el cuarto piso altitudinal con mayor porcentaje (cerca del 20%, 44.30 km²), tiene una cobertura mayor hacia el oeste donde se asienta la cabecera municipal de Huichapan; colindando con la cabecera municipal se encuentra la zona urbana de Mamithí y al este la zona urbana de Boyé.

El quinto piso altitudinal con cotas de 2, 100 – 2, 200 metros de altitud cuenta con una superficie mayor al 15% (39.67 km²), misma que presenta una dirección de suroeste a noroeste, en este punto se encuentra situada la zona urbana de La Sabinita; así mismo esta área está disectada por diversos arroyos, destacan dos ubicados en la zona suroeste, denominados La Peña Blanca y La Cañada; uno más en el centro de la superficie que lleva por nombre arroyo Grande punto de confluencia de los arroyos El Berrendo, El Charro y El Quichoji.

Prácticamente, desde los 1, 700 a los 2, 200 metros de altitud, el relieve corresponde a un amplio piedemonte cuya superficie aproximada es de 121.76 km².

Las cotas altitudinales de los 2, 200 – 2, 300 metros representan el sexto piso altitudinal (más de 15%, 36.65 km²), se observan las primeras variaciones que dan origen al relieve volcánico conformado por el cerro Nopala y la caldera Huichapan.

A partir de las cotas altitudinales que van de los 2, 300 metros en adelante, se pueden categorizar dos grupos; tomando en consideración la geomorfología que marca los límites altitudinales entre las cotas y que dan origen al relieve montañoso; en este sentido, el primer grupo conformado por los pisos altitudinales 7, 8, 9, y 10 que va de los 2, 300 metros a los 2, 700 metros, suma una superficie del 62.69 km² (27.51%) en total; corresponde así a la zona de inicio de las laderas volcánicas del cerro Nopala y de la caldera Huichapan.

El tercer grupo que va de la cota altitudinal de los 2, 700 metros - >3, 000 metros, lo conforman los pisos altitudinales 11, 12, 13 y 14; donde se aprecia un relieve más modelado que va marcando los límites entre cada cota altitudinal en estas dos zonas volcánicas (cerro Nopala y Caldera Huichapan), este modelado indica también el inicio de los arroyos que dieron origen al relieve actual de estos aparatos volcánicos y que a su vez, van diseccionando el piedemonte que está en las altitudes bajas con dirección al norte. Estos pisos altitudinales sumados representan el 2.97 % (6.75 km²) de la superficie total; los pisos 13 y 14 que representan las zonas más altas pertenecen a los edificios volcánicos del cerro Nopala y la Caldera Huichapan, ubicados al sur, donde nacen los arroyos que los diseccionan.

De acuerdo con la distribución altitudinal del relieve que se manifiesta en franjas con dirección suroeste - noreste, se observa que las temperaturas disminuyen de noroeste a sureste, mientras que la precipitación aumenta hacia el sureste, la vegetación boscosa corresponde con los pisos de mayor altitud.

3.2.3 Pendiente del terreno

La pendiente del terreno es definida como la inclinación de este con respecto a la horizontal (Pedraza, 1996), se considera un factor esencial que contribuye en la evolución y dinámica del relieve ya que está asociada con diversos procesos geomorfológicos tanto constructivos como destructivos, los cuales desencadenan fenómenos como la erosión o la sedimentación del suelo, la inestabilidad de laderas, cambios en la velocidad de las corrientes fluviales, etc. Así mismo la podemos relacionar con la morfología, ya que clasifica y jerarquiza las formas del relieve de acuerdo con su geometría; por lo que la pendiente constituye un factor que favorece la delimitación y la clasificación de los diferentes tipos de formas que se encuentran en el terreno (Oropeza, 2010).

Para la elaboración del mapa de pendiente del terreno, se utilizó un modelo digital de elevaciones (MDE), del cual se extraen ciertos atributos que componen el relieve y así se conoce su distribución espacial para poder inferir diversos procesos como son los geomorfológicos, los hidrológicos, los biológicos y de riesgos en cualquier región de análisis; posteriormente se procede a la clasificación de los parámetros de medición de la pendiente de forma cuantitativa para resaltar variaciones topográficas en el MDE de forma descriptiva. Éstos se expresan comúnmente en grados o porcentajes. Las variaciones topográficas de la pendiente están en función del grado o porcentaje de inclinación del terreno, las cuales pueden ser progresivas cuando no se detecta ningún cambio, de inflexión suave cuando existen cambios y de ruptura cuando hay inflexiones netas o fuertes (Pedraza, 1996; Oropeza, 2010; Zinck, 2012).

Oropeza (2010) menciona que existen intervalos definidos para la clasificación y la descripción de la pendiente; sin embargo, tomando en consideración que el relieve predominante en la región de estudio es mayormente plano, se eligieron categorías que fueran acordes con la zona de estudio, ya que esta es una de las variables que está relacionada con la geomorfología, distribución de la red hidrológica, uso de suelo, etc.

Se establecieron siete categorías de pendiente del terreno que se muestran en la Figura 3.4. El mapa de pendientes tiene como principal objetivo mostrar la distribución espacial de las diferentes clases expresadas en grados (Tabla 3.1).

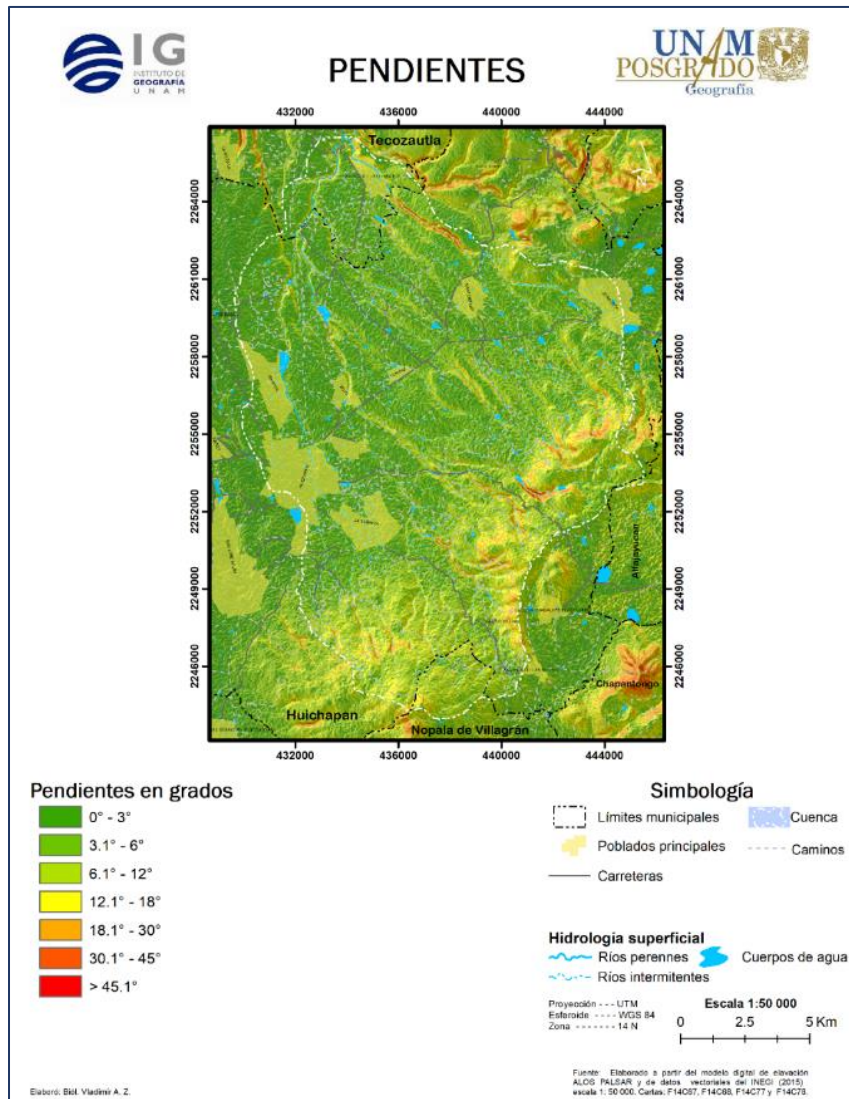


Figura 3.4. Pendiente del terreno de la cuenca El Molino.

Tabla 3.1. Clasificación de las pendientes en la cuenca El Molino.

| Clases | Km ² | % |
|--------------|-----------------|------------|
| 0° - 3° | 66.41 | 29.14 |
| 3.1° - 6° | 76.22 | 33.44 |
| 6.1° - 12° | 62.01 | 27.20 |
| 12.1° - 18° | 17.59 | 7.72 |
| 18.1° - 30° | 5.29 | 2.32 |
| 30.1° - 45° | 0.36 | 0.16 |
| >45.1 | 0.05 | 0.02 |
| Total | 227.93 | 100 |

La primera categoría de pendiente va de los 0° - 3°, tiene una superficie de 66.41 km² lo que representa el 29.14% del total de la región de estudio, así mismo, la categoría de 3.1° - 6° cuenta con una superficie de 76.22 Km², equivale al 33.44%, ambas categorías corresponden a los terrenos que forman parte de la zona de disección, representada por las superficies cumbresales del piedemonte y por los fondos de los cauces de ríos y arroyos. La tercera categoría está en el intervalo de los 6.1° - 12°, presenta un área de 62.01 km² (27.20%); las tres categorías mencionadas, en conjunto, forman el piedemonte volcánico mesiforme (89.78%). Es preciso señalar que, dentro de este primer grupo, los terrenos con pendiente de 3.1° - 6° son los que mayor superficie tiene y se distribuyen al norte y suroeste de la cuenca. Se cataloga de pendientes planas o casi planas a pendientes ligeramente inclinadas.

La categoría de los 12.1° - 18° tiene una extensión de 17.59 km², representa el 7.72%. La siguiente categoría, con intervalo de 18.1° - 30°, tiene una superficie de 5.29 Km² (2.32% del total de la cuenca); este segundo grupo puede clasificarse como pendientes que van de ligeramente inclinadas a moderadamente inclinadas, están presentes en las laderas volcánicas y valles erosivos que van diseccionando el piedemonte volcánico mesiforme y se distribuyen principalmente en la región sur y este de la cuenca, así como en el centro, en una menor proporción.

El tercer grupo de pendientes cuyas categorías van de 30.1° - 45° y >45° no representan el 1% de cobertura; este grupo de pendientes puede definirse como pendientes escarpadas y acantilados (Pedraza, 1996), se distribuyen al sur de la cuenca en los valles erosivos que están presentes en las laderas y edificios volcánicos; también se localizan al noreste, dentro del piedemonte volcánico mesiforme.

Aguiló *et al.* (2014) mencionan que las pendientes planas (0° a 3°) pueden presentar escorrentía superficial mantiforme o areolar lenta, por lo que no constituye un gran riesgo de erosión hídrica a excepción de que haya suelos que sean susceptibles para ello, en las pendientes consideradas como ligeramente inclinadas o medianamente inclinadas (6° - 12°) la escorrentía tiende a concentrarse y ser de lenta a media y la erosión depende de la susceptibilidad del suelo; así mismo, las pendientes moderadas, escarpadas o acantiladas, la escorrentía puede llegar a ser rápida y aumenta la probabilidad de erosión hídrica.

3.2.4 Geología

Se presenta una aproximación al contexto geológico-histórico sobre cómo está conformada la base natural en la que está ubicada la región de estudio, así como la distribución espacial de las estructuras litológicas y el periodo de formación de éstas (Figura 3.5). Este mapa, se elaboró a partir de la información extraída de las cartas de geología elaboradas por el INEGI (1974) y por el Servicio Geológico Mexicano (2012) a escala 1: 50 000, así como de apoyo bibliográfico.

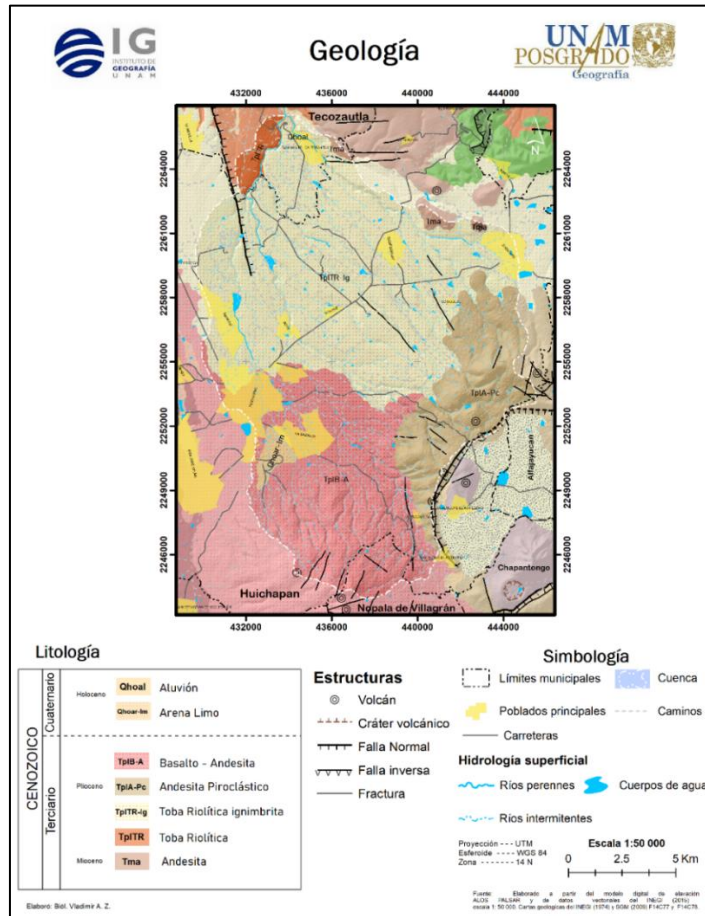


Figura 3.5. Geología de la cuenca El Molino.

La cuenca El Molino pertenece a la provincia geológica del sistema volcánico Transversal o como diversos autores señalan: Cinturón Volcánico Transmexicano (Milán *et al.*, 1993; Aguirre *et al.*, 1998; López, 2017) (Figura 3.6) la cual está conformada por estructuras volcánicas mayores como es el caso de volcanes y calderas (Gómez, 2005). Estas estructuras volcánicas se encuentran presentes al sureste de la cuenca formando el parteaguas.

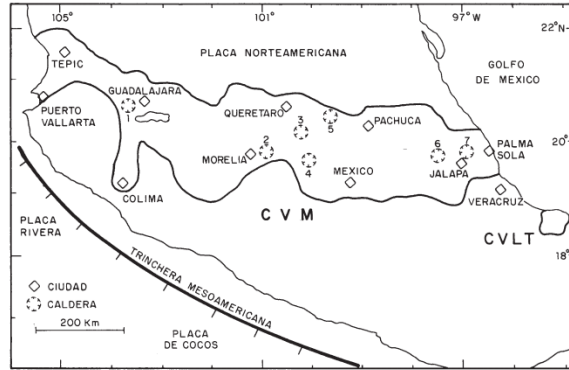


Figura 3.6. Ubicación del Cinturón Volcánico Mexicano y las estructuras caldéricas.
Fuente: Tomado de Milán *et al.*, 1993.

La caldera Huichapan está ubicada al sureste de la cuenca, tiene un diámetro aproximado de 8.5 km con forma subcircular; hacia el sur se encuentra el volcán Nopala que es de origen monogenético (Figura 3.7). Está compuesta por derrames lávicos en la parte alta dando origen a su relieve (Verma *et al.*, 1992; Milán *et al.*, 1993; Aguirre & López, 2009; López, 2017).

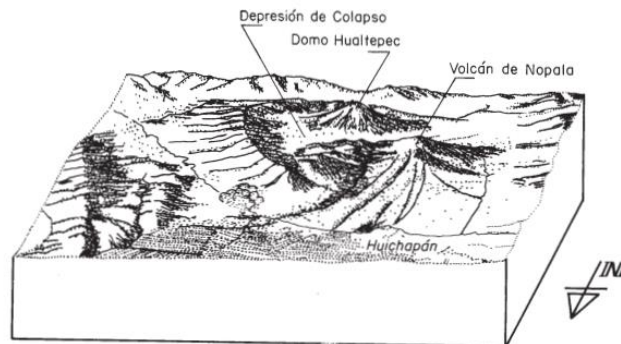


Figura 3.7. Bloque esquemático de la fisiografía de la caldera Huichapan.
Fuente: Tomado de Milán *et al.*, 1993.

La configuración geológica así como la distribución de las unidades litológicas varían en edad, ya que se encuentran afloramientos pertenecientes al periodo terciario y cuaternario principalmente; en este sentido, el periodo terciario estuvo caracterizado por un proceso de vulcanismo, producto de la actividad volcánica dentro del Cinturón Volcánico Mexicano, dicha actividad inicia durante el Mioceno; cuando se conforma la base estructural de la cuenca por formaciones de lava de composición andesítica (Tma) (Gómez, 2012).

A finales del Mioceno y como parte de los procesos volcánicos que anteceden a la formación de la caldera, se emitieron derrames de composición riolítica con espesor aproximado de 150 m. En el Plioceno, la actividad volcánica se incrementa, lo que

origina el colapso de la caldera de Huichapan permitiendo la extravación de secuencias piroclásticas la cuales están representadas por tobas, resultado de procesos volcánicos violentos (Lesser *et al.*, 2007; SGM, 2009; Gómez, 2012).

Las tobas riolíticas como la formación “Toba Donguiñó” (TpITR) consisten en depósitos piroclásticos eyectados en la fase inicial del colapso de caldera, estos elementos están compuestos litológicamente por depósitos de cenizas seudoestratificados, horizontes de oleadas piroclásticas con ligera estratificación cruzada y flujos de pumicita con presencia abundante de fiammes (líneas que cruzan la roca y pueden estar compuestas por diferentes minerales); algunos de estos afloramientos alcanzan un espesor cercano a 50 m y se pueden encontrar en el río El Molino (Lesser *et al.*, 2007; SGM, 2009; Gómez, 2012).

La toba riolítica – ignimbrita (TpITR -ig) la cual forma parte de la “Toba Huichapan”, consiste en un conjunto de flujos piroclásticos parcialmente soldados, con fenocristales bien formados, orientados y ligeramente alineados debido a la compactación; indistintamente se presentan depósitos de oleadas piroclásticas y cenizas con espesores no mayor a 3 m, esta formación se encuentra distribuida en la región central y norte de la cuenca (Lesser *et al.*, 2007; SGM, 2009; Gómez, 2012).

La ignimbrita que está distribuida en la región central y norte de la cuenca, está asociada a la formación de la caldera Huichapan misma que aflora en la región sureste de la cuenca; este tipo de material llega a formar depósitos de espesores de hasta 15 m, los cuales desarrollan estructuras columnares moderadamente soldadas, estas presentan una coloración café rojizo producto del intemperismo, por lo que los materiales que no están sujetos a este tipo de proceso presenta una coloración rosa (Cabrera *et al.*, 2019). La extrusión de esta ignimbrita dio paso al colapso de la caldera; está constituida por dos materiales principales; el primer material es riolítico que tuvo poco alcance, mientras que el segundo material es de ignimbrita la cual está ampliamente distribuida (Flores López, 2019).

El material ígneo que forman las tobas puede estar constituido por granos entrelazados de un solo material o por una mezcla de granos minerales del grupo de los silicatos; dentro de la formación de rocas ígneas extrusivas se encuentran las tobas o cenizas volcánicas que se forman por la consolidación de cenizas que fueron arrojadas por los volcanes (Gutiérrez Elorza, 2008).

Posteriormente al volcanismo explosivo, se extravasaron coladas de lava de composición andesítica basáltica con algunos paquetes piroclásticos (TplA – Pc), los cuales aparentemente marcan los límites de los flujos de lava. El volcanismo post-caldera está representada por rocas de composición máfica a intermedia, constituido por basalto andesítico y andesitas (TplB-A) de textura afanítica, con estructura fluidal y vesicular; este tipo de rocas fueron emitidas a través del volcán Nopala, generando así las laderas volcánicas, estas estructuras se encuentran ubicadas en la región este y sur de la zona de estudio (Lesser *et al.*, 2007; SGM, 2009; Gómez, 2012).

Las lavas basálticas presentes en la región de estudio se desplazaron a decenas de km/h y cubrieron grandes distancias, al entrar en contacto con la atmósfera generan grietas. Las lavas andesíticas se desplazaron a menor velocidad alcanzando una menor distancia, forman bloques de lava abruptos que alcanzan los 100 m de altura.

En el periodo cuaternario, considerado como la última subdivisión en la escala del tiempo geológico, está caracterizado por tener un periodo más corto y a la vez complejo, es el resultado del modelado del terreno producido por factores geológicos internos y externos, lo que posteriormente da lugar a la configuración de los paisajes (Silva *et al.*, 2017).

Como producto de las diversas actividades volcánicas y de los eventos producidos durante el Holoceno en el periodo cuaternario, se encuentran los depósitos lacustres que están constituidos por materiales de arena – limo (Qhoar – lm) distribuido en la región suroeste de la cuenca y el aluvión (Qhoal), considerados como depósitos no consolidados y distribuidos en algunas planicies y fondos de arroyos.

El aluvión (Qhoal) cubre los cauces de arroyos principales, esto como resultado de la erosión de las rocas que afloran en la región; esta formación se localiza en el río El Molino, (Lesser *et al.*, 2007; SGM, 2009; Gómez, 2012).

Se encontraron varios lineamientos (fracturas y fallas), de los cuales ocho están localizados al sur y ocho al este, donde existe materiales con composición andesítica basáltica; cinco estructuras con fracturas al centro y norte de la cuenca; así mismo, la región presenta una falla al norte, cuya abertura es el resultado de procesos internos y de tectónica (López Hernández, s/f). El fracturamiento de estos materiales geológicos son producto de varios procesos como lo son: El plegamiento de la Sierra Madre Oriental, la génesis del Cinturón Volcánico Mexicano, el movimiento de los bloques tectónicos estratégicos regionales, entre otros (Lesser *et al.*, 2007; SGM, 2009; Gómez, 2012; Beltrán, 2017)

3.2.5 Geomorfología

La geomorfología tiene como objetivo deducir las configuraciones presentes de la superficie terrestre, por lo que se van delimitando geoformas que responden a procesos naturales o antrópicos con formas o características diferenciables, resultado de la dinámica litosférica (J. Hugget, 2011). El término geoforma se utiliza como denominación genérica en relación con los niveles taxonómicos, es preciso señalar que las geoformas no disponen de un sistema taxonómico estructurado para clasificar las formas del relieve (Zinck, 2012); así que la categorización de estas formas puede iniciarse conforme a criterios establecidos por diversos autores²²; en este sentido,

²² Lugo-Hubp (1988); Priego Santander *et al* (2003); Priego Santander *et al* (2009); Serrato Álvarez (2009); Zinck (2012).

Serrato Álvarez (2009) menciona un sistema de clasificación piramidal propuesto por Villota (1992) cuya identificación de las geoformas depende principalmente de los niveles jerárquicos de estudio (Tabla 3.2), así como del grado de detalle del inventario y de la fotografía aérea o de sensores remotos a diferentes escalas. Así mismo, las geoformas controlan una serie de propiedades en las unidades de suelo correspondientes (p.ej. topografía, textura, drenaje, etc.).

Tabla 3.2. Niveles de jerarquización de las geoformas. Fuente: Serrato Álvarez (2009).

| Orden | Definición |
|------------------------|--|
| Geoestructura | Continentes, cuencas oceánicas. |
| Provincia fisiográfica | Región morfológica con características de macrorrelieve, macroclima, geología definidas. Ejemplo: Cordillera Oriental, Amazonia, Orinoquía, Depresión o Valle geográfico del río Magdalena, etc. |
| Gran paisaje | Unidad con homogeneidad en cuanto a temperatura promedio anual y humedad disponible, que determina una pedogénesis específica, la cobertura vegetal y el uso de la tierra. |
| Paisaje | Unidad con similitud en geogénesis, clima, litología y topografía general. Las formas generales del mesorrelieve han sido originadas por procesos endógenos o exógenos; vulcanismo, erosión, disolución, depositación fluvial marina o lacustre. |
| Subpaisaje | Porciones de la tierra con geogénesis específica y con igual característica en material litológico, y/o edad: espinazo, cresta ramificada, abanico, terraza, plano de inundación. |

La clasificación de las geoformas se da de forma jerárquica, tomando como principio la geomorfología estructural de los niveles superiores del sistema; en este sentido, la dimensión espacial y temporal de las unidades geomorfológicas varían continuamente desde lo global hasta lo local influyendo así en la selección de los métodos de estudio (Zinck, 2012).

Con este enfoque, la regionalización geomorfológica de la cuenca (Figura 3.8) se realizó por medio de un Modelo Digital de Elevación (MDE) para la extracción y medición de los atributos para generar parámetros como los perfiles topográficos, las pendientes, la hipsometría, etc.

Se establecen unidades geomorfológicas (paisajes geomorfológicos) definidas como la conjugación de las unidades naturales homogéneas donde convergen diversos componentes como la geología, el relieve y el drenaje superficial; éstos considerados como componentes principales que guían en el proceso de la uniformidad relativa de cada estructura espacial. En este sentido, cada unidad del terreno resulta reconocible y diferenciable de otras vecinas (Ortiz y Oropeza, 2010).

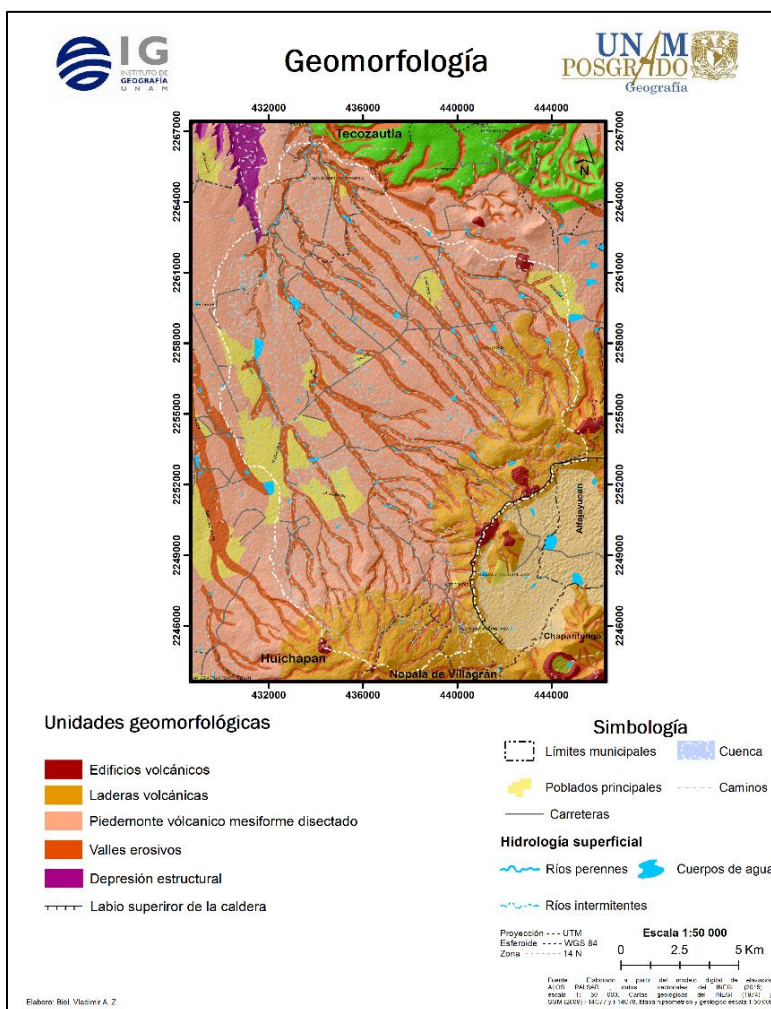


Figura 3.8. Geomorfológico de la cuenca El Molino.

Descripción de las unidades geomorfológicas:

Edificios volcánicos

El sistema volcánico está compuesto por un estratovolcán constituido por edificios volcánicos como son los cerros Nopala y La Estancia en el sur, una caldera ubicada en el sureste denominada Caldera Huichapan la cual presenta un diámetro de 8.2 km; ambas estructuras están localizadas aproximadamente a más de 3,000 m.s.n.m.

Laderas volcánicas y valles erosivos

Las laderas presentes en el volcán Nopala comienzan a partir de la cota altitudinal de los 2, 400 m.s.n.m y terminan en los 3, 000 m.s.n.m, presentan una disección fluvial compuesta por valles erosivos; el perfil de las laderas está asociado comúnmente a la pendiente, la cual da origen a una serie de irregularidades que corresponden a concavidades y convexidades, mismas que obedecen a la litología del sustrato y a los diferentes procesos que inciden en la morfología como puede ser la erosión (Gutiérrez Elorza, 2008), en este sentido el perfil que presentan las laderas volcánicas del C. Nopala son cóncavas, las cuales están asociadas a los procesos erosivos y de remoción de material.

Las laderas presentes en la Caldera Huichapan surgen a partir de la cota altitudinal de los 2, 300 m.s.n.m. hasta los 3, 000 m.s.n.m., están moderadamente diseccionadas por valles erosivos; presentan un perfil cóncavo con algunas cimas convexas que están más modeladas en la parte baja.

Piedemonte mesiforme y valles erosivos

Los piedemontes se refieren, según Pedraza (1996) a las superficies, generalmente en la base de las montañas, con inclinaciones o pendientes suaves, suelen presentar procesos erosivos sobre rocas, en este sentido la unidad morfológica de la cuenca El Molino se desarrolla a partir de la cota altitudinal de los 1, 700 m.s.n.m. hasta los 2, 300 m.s.n.m., presenta pendientes muy suaves de 0° a 3°, las pendientes con 12° a 30° corresponden a las unidades morfológicas denominadas valles erosivos los cuales van diseccionando al piedemonte, formando arroyos intermitentes y algunos ríos perennes; el piedemonte presenta perfiles convexos, erosionados por procesos climáticos como son los relacionados con el ciclo hidrológico como lo es la lluvia, la escorrentía y la fuerza de arrastre del agua en la red hidrográfica así como los relacionados con el viento y los factores propios del suelo.

Los piedemontes son considerados como una transición entre las zonas elevadas, donde el proceso de erosión es notable, hasta las zonas bajas como es el caso del piedemonte caracterizado por tener un relieve ligeramente cóncavo y suave en donde imperan los procesos de sedimentación y transporte (Gutiérrez Elorza, 2008).

Los valles erosivos tienen su origen en las partes altas de las estructuras volcánicas del cerro Nopala y la caldera Huichapan, las corrientes van descendiendo hasta llegar a la parte baja de la cuenca en donde disminuye la velocidad y capacidad de transporte.

Valles erosivos

Como se ha descrito, los valles erosivos están presentes en las todas las unidades geomorfológicas como las estructuras volcánicas, las laderas volcánicas y el piedemonte mesiforme.

Un valle puede ser definido como hendiduras o concavidades lineales en el terreno, así mismo se puede utilizar para definir cualquier superficie terrestre con fondo diverso, más menos plano o cóncavo el cual forma un corredor; en este contexto, los valles pueden clasificarse según su posición, carácter u origen (Pedraza, 1996).

En la cuenca El Molino, se presentan valles en <<V>>, este rasgo (Figura 3.9) es característico de relieves jóvenes, ya que las vertientes están poco modeladas por la erosión y convergen en un fondo muy estrecho.



Figura 3.9. Perfil morfológico de los valles en V.
Fuente: Elaboración propia con base en Pedraza (1996).

En el relieve montañoso, al ser un modelado joven presenta laderas de pendiente moderada (12°) a severa (30°), en este caso son escarpadas y accidentadas. La forma de los valles es en <<V>> con una inclinación de fondo fuerte.

A continuación, se presenta la localización de cuatro perfiles topográficos (Figura 3.10), dos en el sentido general de la pendiente (A-A' y B-B') y dos transversales a ella (C-C' y D-D'), que complementan la descripción de las unidades geomorfológicas.

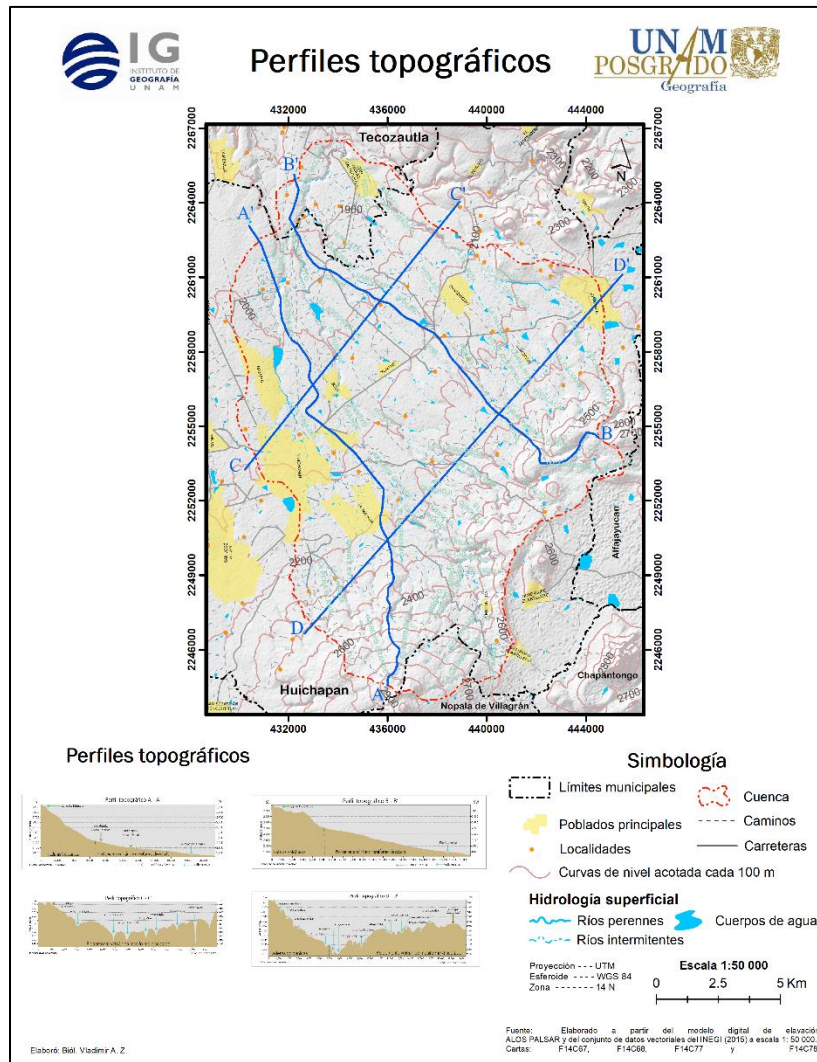


Figura 3.10. Localización de los perfiles topográficos.

El perfil topográfico A-A' (Figura 3.11) muestra el relieve de manera longitudinal en dirección aguas arriba-aguas abajo de la cuenca, tiene una orientación sur-norte, se inicia a los 2,950 m de altitud en el cerro La Estancia, edificio volcánico de rocas basáltico-andesíticas y andesitas del Plioceno, a su vez, forma parte de la estructura correspondiente al estratovolcán del cerro Nopala situado al este. El perfil continúa por las laderas de dicho edificio, cuya pendiente general es aproximadamente de 30° y es ligeramente cóncava como resultado de los procesos erosivos y del material removido, a los 2,230 m se adosa a estas laderas volcánicas un piedemonte de origen volcánico constituido por depósitos de toba riolítica e ignimbrita, también del Plioceno que, aunque en este perfil no se destaca, está cortado por valles profundos, dando un relieve mesiforme como se verá más adelante en los perfiles transversales. Se observa, al inicio del piedemonte, un perfil ligeramente cóncavo debido a la erosión hídrica y conforme se desciende, cambia a ligeramente convexo como resultado del transporte de sedimentos que son depositados en la parte baja del perfil y en las proximidades del arroyo Las Tinajas, prácticamente donde el relieve es casi

plano. En este piedemonte se encuentran las dos localidades urbanas más importantes, Huichapan y La Sabinita.

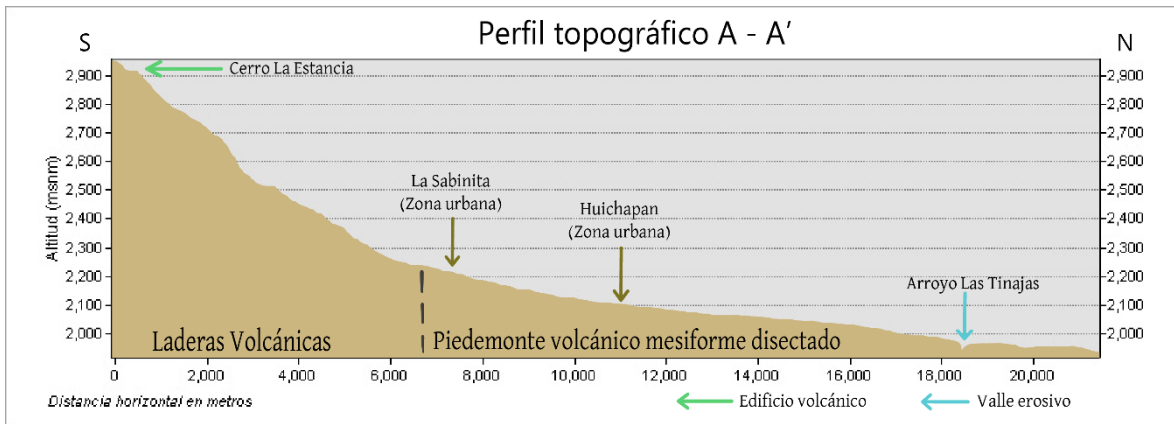


Figura 3.11. Perfil topográfico A-A', cuenca El Molino.

Fuente: Elaboración propia con base en el MDE ALOS PALSAR.

El perfil B-B' (Figura 3.12) también representa el sentido longitudinal de la pendiente general, tiene una dirección sureste-noroeste, se inicia cerca de los 2,700 m.s.n.m., en el cerro Las Cabras cuya estructura forma parte del gran complejo volcánico de la Caldera de Huichapan, las rocas dominantes son andesíticas y piroclastos de edad pliocénica. Las laderas son irregulares más o menos hasta los 2,580 m de altitud para descender de manera abrupta. Después, el perfil se suaviza al entrar en contacto con el piedemonte, tiene un relieve ligeramente convexo en la parte alta y va cambiando, hacia donde éste se termina, a ligeramente cóncavo, como resultado de la alternancia espacio-temporal de procesos denudativos, erosivos y acumulativos. También se aprecia la fuerte incisión del río Pathecito formando un valle en "V" producto de la erosión fluvial.

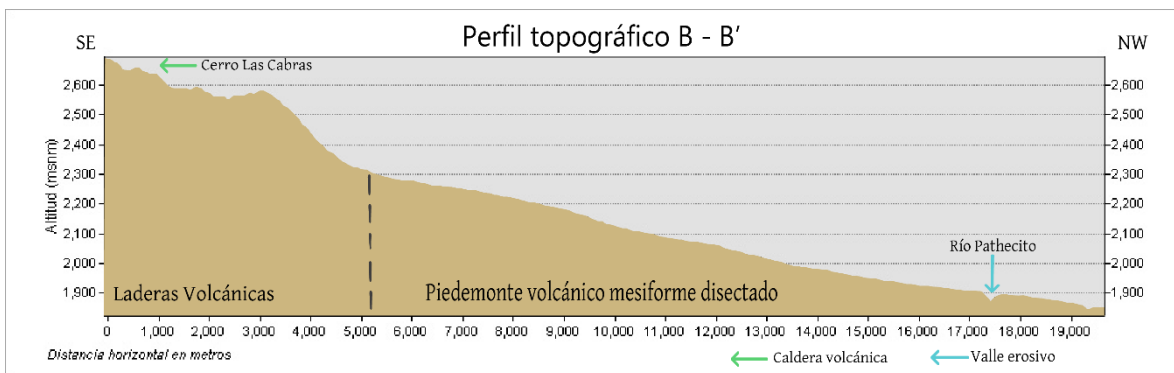


Figura 3.12. Perfil topográfico B - B', cuenca El Molino.

Fuente: Elaboración propia con base en el MDE ALOS PALSAR.

En contraste con los perfiles topográficos anteriores donde el relieve que se muestra es relativamente regular ya que siguen la pendiente general del terreno y se distinguen claramente las laderas volcánicas del piedemonte, en los siguientes perfiles (C-C' y D-D'), transversales a la pendiente general, el panorama es diferente.

El perfil topográfico C-C' (Figura 3.13), con dirección suroeste-noreste, muestra una configuración generalizada cóncava entre los 2,020 y los 2,090 m de altitud, sin embargo, lo que resalta es la gran disección del piedemonte, debida a los numerosos ríos y arroyos que descienden de las estructuras volcánicas del sur, sureste y este de la cuenca. Se han formado valles con una configuración en "V", algunos de ellos son profundos y de declives abruptos como el valle del arroyo Nimacú. Varias de las corrientes aprovechan rasgos estructurales como fracturas y fallas para formar sus valles, en sus paredes se observan los materiales volcánicos, alternando coladas de lava de apariencia columnar con depósitos de flujos piroclásticos de varios metros de espesor. Cabe mencionar que las cimas irregulares de los interfluvios en el piedemonte, aunque exageradas por la escala vertical del perfil, muestran una configuración de mesas, en planta se observan como mesas alargadas en sentido de la pendiente general, están delimitadas por los valles erosivos con paredes escarpadas.

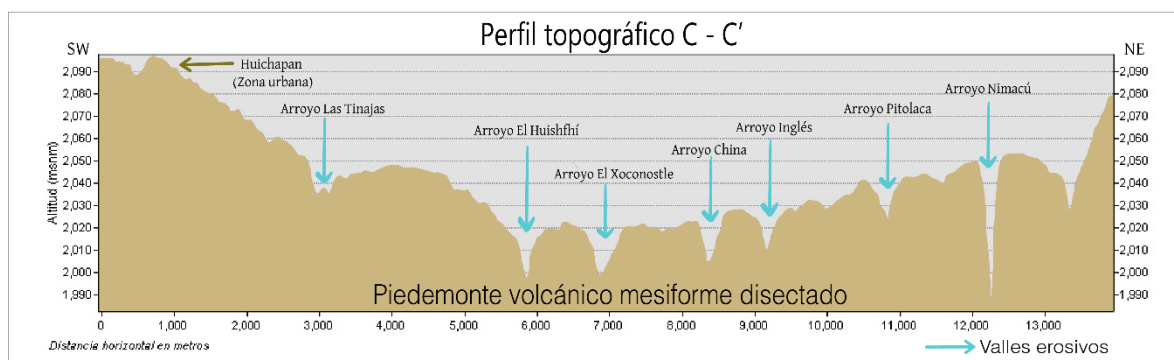


Figura 3.13. Perfil topográfico C - C', cuenca El Molino.

Fuente: Elaboración propia con base en el MDE ALOS PALSAR.

El último perfil D-D' (Figura 3.14), tiene una configuración generalizada cóncava-convexa, abarca las laderas del Volcán Nopala desde los 2,420 hasta los 2,215 m.s.n.m. en el suroeste, para continuar en el piedemonte hacia el noreste. El relieve en el piedemonte es mucho más irregular que en el perfil anterior, también se debe a la disección de los materiales volcánicos, pero ésta es menos profunda, los valles son en forma de "V".

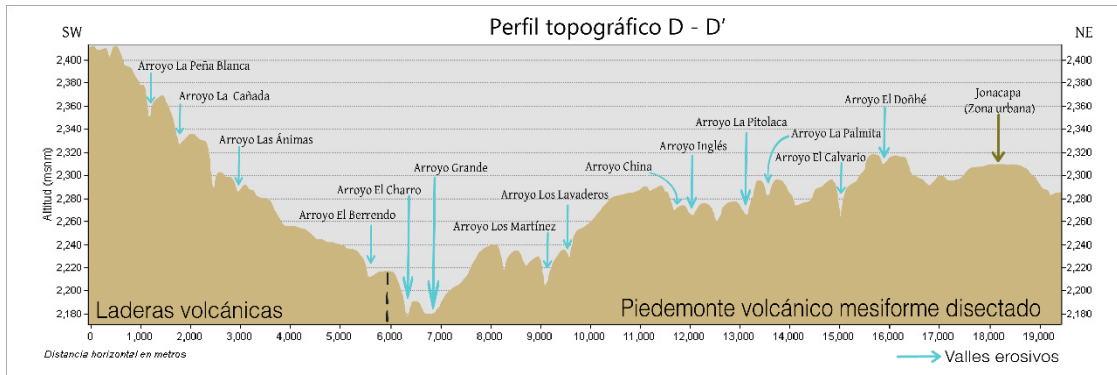


Figura 3.14. Perfil topográfico D - D', cuenca El Molino.

Fuente: Elaboración propia con base en el MDE ALOS PALSAR.

3.2.6 Clima e Hidrología

En la cuenca se distinguen dos grupos climáticos (Figura 3.15) Templado (C) y Semiárido (BS). Dentro del clima templado se encuentran: El clima $C(w_0)(w)(i')g$ el cual corresponde a un clima templado subhúmedo considerado el más seco de los subhúmedos con una precipitación media anual menor a 43.2mm, tiene menos del 5% de precipitación invernal, presenta un régimen de lluvias en verano con poca oscilación térmica (entre 5° y 7° C), el mes más caliente se presenta antes de junio (marcha de temperatura tipo Ganges). El clima $C(w_1)(w)(i')g$ es considerado como templado subhúmedo, el intermedio de los subhúmedos con una precipitación media anual entre 43.2 55 mm, tiene menos del 5% de precipitación invernal, presenta un régimen de lluvias en verano con poca oscilación térmica (entre 5° y 7° C), con marcha de temperatura tipo Ganges (García, 2004).

El clima $BS_1Kw(w)(i')g$ es semiárido templado, con régimen de lluvias de verano con menos del 5% de precipitación invernal, presenta poca oscilación térmica (entre 5° y 7° C), con marcha de temperatura tipo Ganges. El clima $BS1hw(e)gw''$ es de tipo semiárido semicálido, con régimen de lluvias de verano con una precipitación invernal entre 5 y 10.2 %, con un rango de oscilación extremoso (7° y 14° C), con marcha de temperatura tipo Ganges, con canícula (García, 2004).

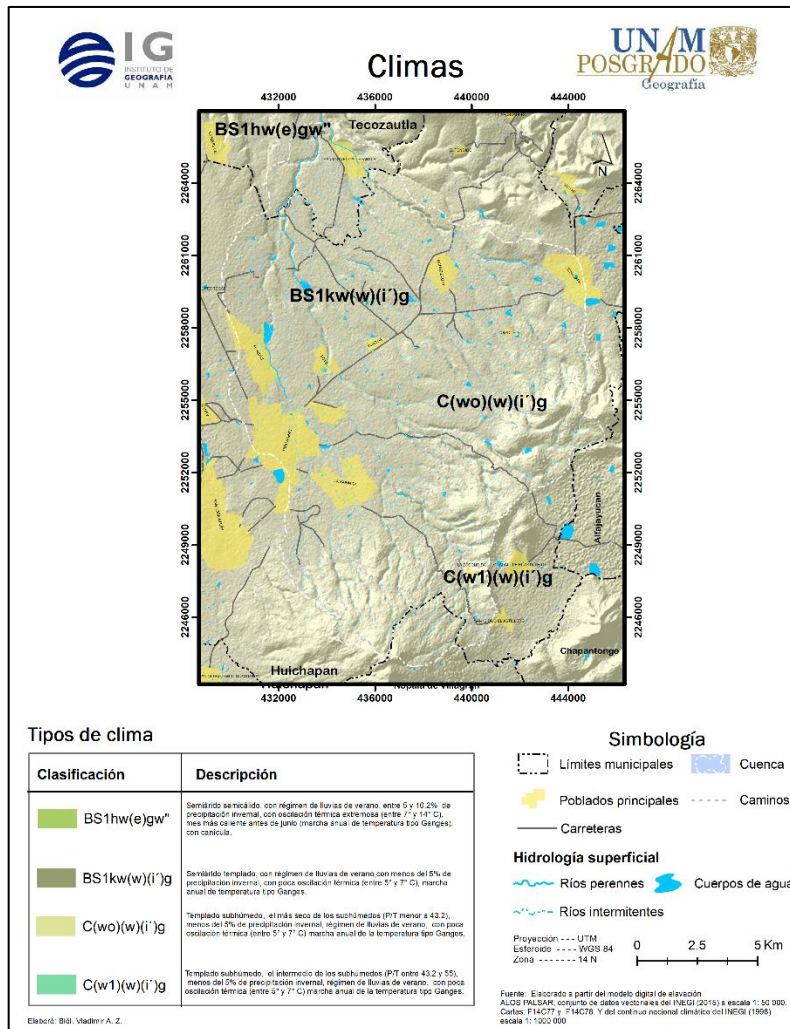


Figura 3.15. Climas de la cuenca El Molino.
Fuente: García y CONABIO (1998).

Estos grupos climáticos están distribuidos por franjas que están relacionadas con la distribución hipsométrica, en este sentido, tenemos que en la parte sur de la cuenca se encuentra el grupo templado húmedo C(w₁) que se distribuye a partir de los 2, 400 m.s.n.m., mientras que el grupo C(w₀) a partir de los 2, 200 m.s.n.m., con una dirección de suroeste a noreste, hasta llegar a los 2, 400 m. García (2004) señala que el tipo de clima Cw se distribuye en zonas montañosas con una altitud superior a los 1, 000 m, por lo que se cumple esta condición.

En cuanto a la clave C(w₁), indica que este tipo de clima cuenta con una temperatura media anual mayor a 18°C, la temperatura media de un mes por lo menos desciende por debajo de los 18°C, la temperatura media para el mes más frío oscila entre los -3°C y 18°C; la precipitación de los meses más secos está por debajo de los 40 mm y la lluvia invernal es relativamente alta, por lo que presenta un cociente P/T entre 43.2

y 55.0. La clave C(W₀) indica que es de los climas más secos de los subhúmedos con un cociente P/T menor de 43.2 (García, 2004).

En la parte central y norte de la cuenca se encuentra el grupo de climas semiárido (BS) considerados como intermedios entre los climas muy áridos (BW) y los templados del grupo (C), por lo que este tipo de climas presenta una precipitación mayor si está cercano al límite con un clima templado (C). El clima BS₁ es menos árido que el (BS) y la clave (kw) indica que es templado con verano fresco y largo, con una temperatura media anual entre 12°C y 18°C, con temperaturas del mes más frío que oscilan entre -3°C y 18°C, con un régimen de lluvias de verano con cociente P/T mayor de 22.9 y con escasa precipitación invernal (García, 2004); este tipo de clima se distribuye entre los 2 100 m.s.n.m. y los 1 800 m.s.n.m. El clima BS₁ con clave (hw) se distribuye en la parte norte de la cuenca entre los 1800 m.s.n.m. y los 1 700 m.s.n.m.; indica que es un clima semicálido con invierno fresco con una temperatura media anual mayor a los 18°C y con una temperatura menor a los 18°C en el mes más frío, presenta un régimen de lluvias de verano con cociente P/T mayor de 22.9, así como una escasa precipitación invernal (García, 2004).

A escala local sólo está registrada la estación meteorológica “Huichapan”, con clave 13012 (20° 22' 10" N y 99° 38' 53" W), presenta información de normales climatológicas para un periodo de 29 años (1981 – 2010). La temperatura media anual para ese periodo es de 15.38° C, la temperatura máxima se presenta en el mes de Mayo (18.5 °C) y la mínima en los meses de diciembre y enero (12.5°C – 12.1°C); la precipitación anual es de 436.9 mm, los meses con mayor precipitación son de junio a septiembre, disminuyendo considerablemente en los meses de diciembre a marzo (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Temperatura y precipitación de la estación meteorológica “Huichapan”, 1981 – 2010

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2019).

| | ENE | FEB | MZO | ABR | MAYO | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Temperatura (°C) | 12.1 | 13.9 | 15.8 | 17.8 | 18.5 | 17.7 | 16.2 | 16.2 | 15.7 | 14.6 | 13.6 | 12.5 | 15.38 |
| Precipitación (mm) | 10.4 | 11 | 8.5 | 17.9 | 44.7 | 79.8 | 78.9 | 70.8 | 63.5 | 36 | 10.3 | 5.1 | 436.9 |

Con la información anterior se elaboró el climograma de la estación meteorológica de Huichapan (Figura 3.16), donde se muestra el comportamiento de la temperatura y la precipitación. Se puede apreciar que los incrementos de temperatura comienzan a partir de los meses de febrero a mayo, siendo este último mes el más caliente (18.5° C), el mes más frío es enero (12.1° C). Los periodos de precipitación más abundantes son a partir de los meses de junio a septiembre, junio es el mes más lluvioso con precipitaciones 79.8 mm a 63.5mm;

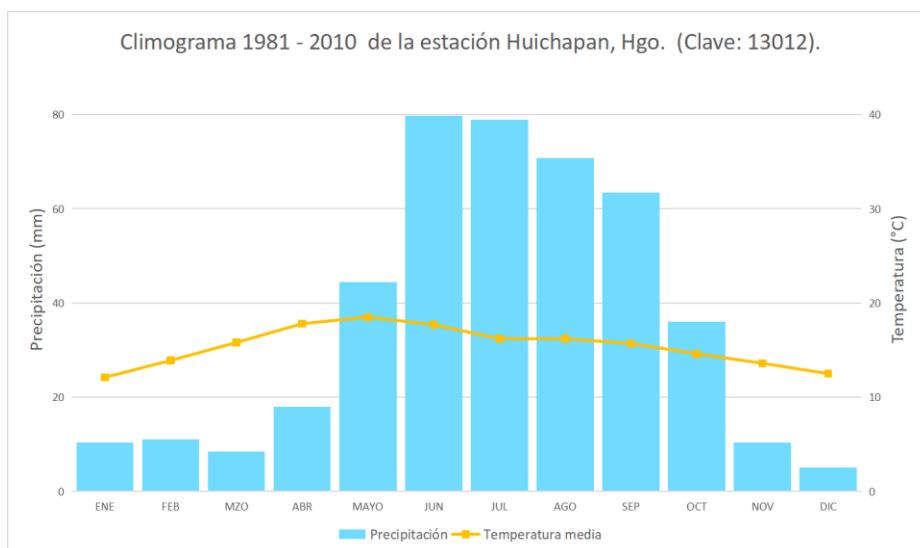


Figura 3.16. Gráfica de la estación meteorológica “Huichapan”, 1981 - 2010.
Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2019).

En cuanto a la información climatológica diaria que aporta la estación “Huichapan”, ésta sólo presenta información hasta el año 2017, por lo que estadísticamente solo se puede realizar un climograma con un mínimo de 10 años si se desea continuar con la información a partir del 2010. En este contexto, se presenta la Tabla 3.4 con la temperatura y precipitación del periodo 2010 – 2017; se puede observar que la temperatura media anual para este periodo es de 16.6°C, la temperatura máxima es en el mes de mayo (19.7° C) y la mínima en enero (12.9° C); la precipitación media anual es de 34.47 mm registrándose la precipitación más alta en el mes de junio (93.25 mm) y julio (71.8 mm).

Tabla 3.4. Temperatura y precipitación media anual de la estación meteorológica “Huichapan”, 2010 – 2017
Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2019).

| | ENE | FEB | MZO | ABR | MAYO | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|--------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| Temperatura (°C) | 12.9 | 14.8 | 16.1 | 19 | 19.7 | 18.8 | 17.8 | 18 | 17.4 | 16.1 | 14.5 | 13.5 | 16.6 |
| Precipitación (mm) | 12.3 | 20.38 | 15.88 | 21.43 | 26.38 | 93.25 | 71.8 | 52.94 | 52.63 | 26.88 | 15.63 | 4.38 | 413.88 |

Si se contrasta la información de los periodos 1981 - 2010 vs 2010 - 2017 se puede apreciar una breve disminución de la precipitación con una diferencia de 23.02 mm y un aumento en la temperatura de 1.22° C.

En la Figura 3.17 se muestra información acerca de la evaporación para el periodo 2010 – 2017, se observa que ésta es más alta que la precipitación desde los meses de abril (137.1 mm) a junio (117.2 mm) en contraste con la información de precipitación para el mismo periodo.

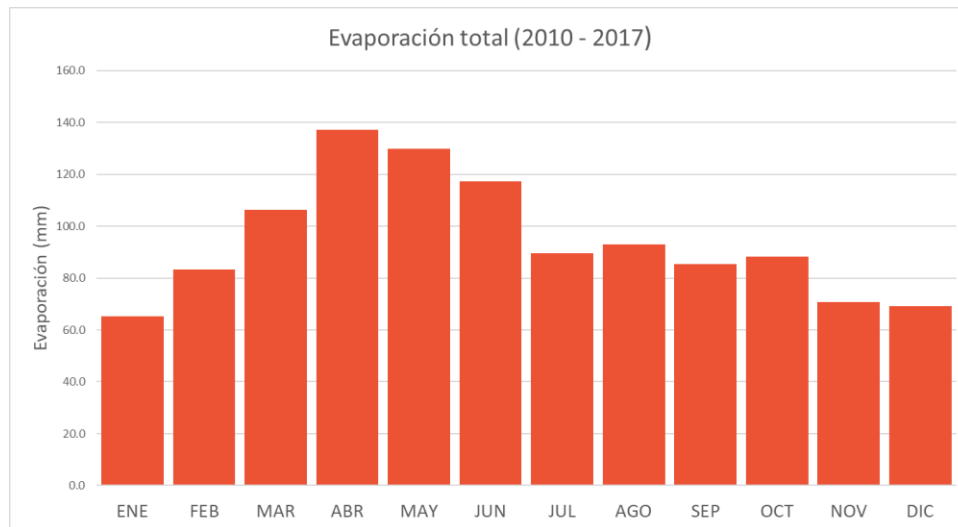


Figura 3.17. Evaporación durante el periodo 2010 – 2017.
Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2019).

Hidrología

La cuenca El Molino, como ya se señaló, pertenece a la Región Hidrológica 26 Pánuco, y a la subregión Bajo Pánuco que forma parte de la cuenca hidrológica Río San Juan y de la subcuenca que conforman los ríos Tecozautla y San Francisco-Hondo (CONAGUA, 2020 & IGH, s.f.), éstos ríos son de régimen perenne, escurren en dirección sur a norte hasta su confluencia con el río San Juan, éste desemboca en la Presa Zimapán donde se une al río Tula y, posteriormente, continua como río Moctezuma (CONAGUA, 2020).

Por su parte, los principales ríos de régimen perenne dentro de la cuenca son: Tinajas, Pathecito y El Molino, tienen una dirección general de sur a norte, aguas abajo se unen al río Tecozautla.

Red hidrográfica

Conforme al INEGI (2010), la red hidrográfica está constituida por el drenaje natural por donde fluyen las aguas del escurrimiento superficial, subsuperficial y subterráneo.

Se puede considerar como un sistema que forma una compleja red de interconexiones, interrelaciones y de transferencia de energía; que responde a los cambios de clima, a los procesos tectónicos y a las actividades humanas (Gutiérrez Elorza, 2008).

La red hidrográfica que está contenida dentro de una cuenca se puede categorizar en tres zonas funcionales (Figura 3.18); la zona 1 constituye el área de producción de escorrentía y de sedimentos (conocida como zona de captación), la zona 2 es considerada como el sector de transferencia (también es denominada como zona de transición) en donde los escurrimientos iniciales confluyen aportando diferentes caudales cuyas concentraciones de materia diferirán dependiendo del tipo de la pendiente que haya en la región, es un área de transporte y erosión; la zona 3 es considerada como zona de descarga o de emisión (Cotler Ávalos *et al.*, 2013).



Figura 3.18. Partes de una cuenca hidrográfica.

Fuente: Elaboración propia con base en World visión: Manejo de cuencas.

Por lo que la red hidrográfica que está dentro de una cuenca se refiere a ríos y arroyos, conformada por corrientes perennes e intermitentes directamente relacionadas con la precipitación que las alimenta y que responden a su vez a dinámicas hidrológicas que son espacial y temporalmente distintas (Cotler Ávalos *et al.*, 2013). De acuerdo con lo anterior, la cuenca de El Molino tiene su zona de captación en la parte sur cuyas estructuras volcánicas sirven como parteaguas de la cuenca, así como de límite natural; por su génesis volcánica así como por procesos geomorfológicos, los valles erosivos ubicados en la zona de captación y mismos que conforman la red hidrográfica de la cuenca, están diversamente ramificados, favoreciendo, en épocas de lluvias, el flujo hídrico desde la zona de transferencia (laderas volcánicas) hasta la zona de descarga ubicada en la parte norte de la cuenca.

Para conocer las características morfológicas de la cuenca a fin de proporcionar una descripción física-espacial se estimaron varios parámetros que se utilizan para determinar la influencia de sus límites en relación con el movimiento y captación del agua de lluvia, englobados en parámetros como: el relieve, forma y red de drenaje (Gaspari *et al.*, 2013).

Los parámetros morfométricos que se calcularon para la cuenca El Molino son tomados de Ibáñez Asensio *et al.*, 2011; Gaspari *et al.*, 2013; Cruz Romero *et al.*, 2015, Lux Cardona, 2015 y Brieva, 2018 (Para mayor detalle consultar el Anexo 1 de este trabajo):

Área de la cuenca (A)

Perímetro (P)

Longitud del cauce principal o longitud de la cuenca (L)

Con los parámetros mencionados se calcularon los siguientes factores y coeficientes relacionados con los parámetros de la forma de una cuenca (Tabla 3.5), estos son determinantes en el comportamiento hidrológico de la misma ya que una misma cuenca que cuenta con un área igual, pero con diferente forma, presentará una respuesta hidrológica diferente. Estos parámetros de forma son:

Coefficiente de Gravelius (Kc) o de compacidad

Factor de forma de Horton (Kf)

Coefficiente de Masividad

Coefficiente orográfico

Pendiente media de la cuenca

Altura media de la cuenca

Tabla 3.5. Resultado de los parámetros morfológicos de la cuenca El Molino.

| Parámetros morfológicos de la cuenca El Molino | | |
|--|------------------|-------------------------|
| Parámetros | Unidad de medida | Parámetros de la cuenca |
| Área total de la cuenca | Km ² | 227.93 |
| Perímetro de la cuenca | Km | 67.48 |
| Longitud del cauce principal | Km | 31.35 |
| Coefficiente de compacidad | - | 1.26 |
| Factor de forma | - | 0.23 |
| Coefficiente de masividad | - | 15.68 |
| Coefficiente orográfico | - | 5.6 |
| Pendiente media de la cuenca | % | 2.21 |
| Altura media de la cuenca | m | 3.57 |

El área total de la cuenca es de 227.93 km², su tamaño es considerado como de una subcuenca (entre 50,000 y 5,000 ha). El perímetro es de 67.48 km, la longitud del cauce principal se definió por la longitud del río principal que recorre desde su origen aguas arriba en el volcán Nopala, ubicado en la parte sur de la cuenca, misma que va descendiendo por la parte oeste hasta desembocar en el río El Molino ubicado al norte de la cuenca, tiene un recorrido de 31.35 km.

La cuenca presenta una forma oval-oblonga, lo que significa que tiene baja susceptibilidad a avenidas; considerando el coeficiente de masividad en contraste con la geomorfología del lugar, esta es moderadamente montañosa y sus estructuras están localizadas en la parte alta, en el sur-sureste. El valor relacionado con coeficiente señala que está medianamente accidentada.

Con relación a la curva hipsométrica (figura 1 Anexo), la cuenca presenta un estadio joven debido a que esta región está formada por los últimos procesos eruptivos del volcán Nopala y la caldera Huichapan, cuya lava fue modelando el relieve formando así los valles erosivos que nacen a partir de la cota altitudinal de los 3,000 m.s.n.m. (1 de altura relativa en la curva hipsométrica) con pendientes de 12° a >45° lo que favorece los procesos erosivos, ya que en las zonas elevadas las condiciones climáticas suelen variar considerablemente alterando así el régimen de precipitación; en este contexto, los flujos hídricos provenientes de las zonas altas y con pendientes de medianas a fuertes (12° a >45°) favorecerá que la carga hídrica y sólida que acompaña a esta sea superior, por lo que al llegar al piedemonte va disminuyendo la velocidad y la capacidad de transporte, lo que conlleva a una rápida sedimentación. Así mismo, los valles endorreicos en <<V>>, son característicos de relieves jóvenes, ya que presenta vertientes poco modeladas por la erosión.

Microcuencas

Las microcuencas son consideradas como unidades diminutas que en su interior albergan quebradas y riachuelos que drenan desde las laderas y pendientes altas. Estas microcuencas son consideradas como unidades para la planificación (FAO *et al.*, 2009).

En este sentido, las microcuencas permiten generar acciones y decisiones que favorezcan el desarrollo integral tomando como base la gestión de los recursos naturales y la conservación de éstos, para así generar el bienestar socioeconómico de la población (FAO *et al.*, 2009).

Para la delimitación de éstas microcuencas, se tomaron en consideración las curvas de nivel incluidas en el conjunto vectorial F14 C78 (INEGI, 2019), así como los cauces principales y las vertientes secundarias que se originan de éstas; lo anterior se realizó con apoyo de un SIG de las cuales se trazaron tres microcuencas (Figura 3.19); éstas microcuencas fueron nombradas de acuerdo con la región hidrológica a la que pertenecen.

La microcuenca P1 ubicada al este, cuenta con una superficie de 74.77 km² tiene su vertiente en la región norte en el río “El Molino” es el cauce principal de la cuenca, presenta una elongación con dirección al este; la microcuenca P2 tiene su vertiente en el río “Pathecito”, está ubicada en la región centro, presenta una elongación con dirección sur–este hacia la parte alta de la cuenca de estudio y tiene una superficie de 100.34 km²; la microcuenca P3 es de forma alargada con la elongación en dirección sur hacia la parte alta de la cuenca; está ubicada en la región oeste, fluye hacia el río “Pathecito” y cuenta con una superficie de 52.82 km².

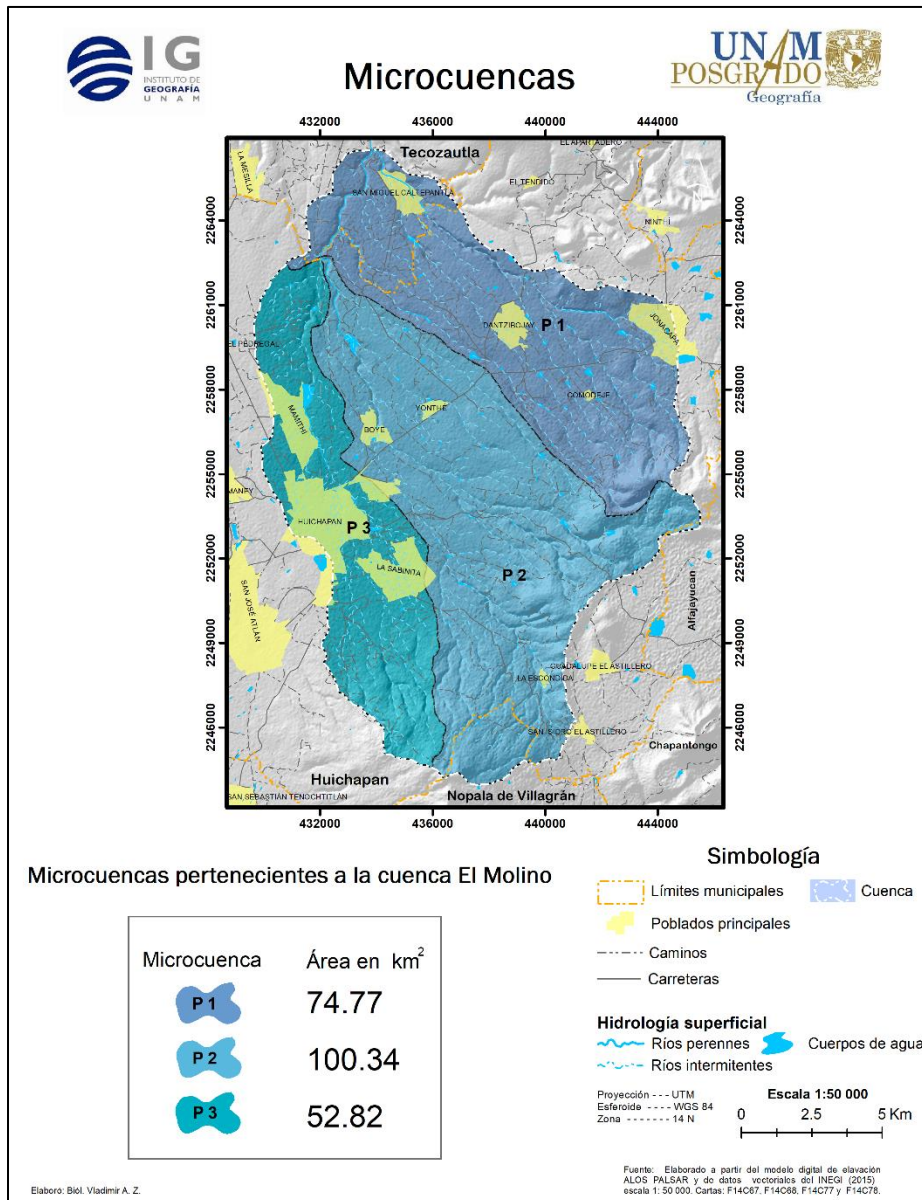


Figura 3.19. Microcuencas localizadas en la cuenca El Molino.

La principal característica que comparten estas microcuencas es que su área de captación está en la parte sur-sureste, en las zonas montañosas del volcán Nopala y la caldera Huichapan. La microcuenca P2 tiene dos zonas de captación en comparación con la microcuenca P1, cuya zona de captación principal es la caldera Huichapan y la microcuenca P3 que tiene su zona de captación en el volcán Nopala. El principal río de la microcuenca P1 es el denominado El Molino; el de la microcuenca P2 es el río Pathecito, ambos de naturaleza perenne. En la microcuenca P3 el río principal es el denominado Las Tinajas cuya corriente es intermitente.

3.2.7 Suelos

El suelo es considerado como el material mineral no consolidado en la superficie del lecho rocoso, el cual ha estado sometido a la influencia de factores como son la topografía, la biota, el material parental²³ y el clima; es considerado como un elemento natural asociado a las interacciones dinámicas con los estratos que están debajo de él, además influyen en el ciclo hidrológico y en el clima, sirve como medio de crecimiento para diversos organismos (SEMARNAT, 2004).

La elaboración del mapa edafológico de la subcuenca “El Molinito” (Figura 3.20) fue realizado tomando en consideración la carta edafológica de la serie II (INEGI, 1974) a escala 1:50, 000, para su descripción se tomó en cuenta la guía para la interpretación cartográfica de edafología (INEGI, 2004), así como la base de referencia mundial del recurso suelo (FAO, 2008); los resultados se presentan en la Tabla 3.6.

²³ Son los materiales que dan origen al suelo producto de la alteración de las rocas o de sedimentos no consolidados de cualquier material.

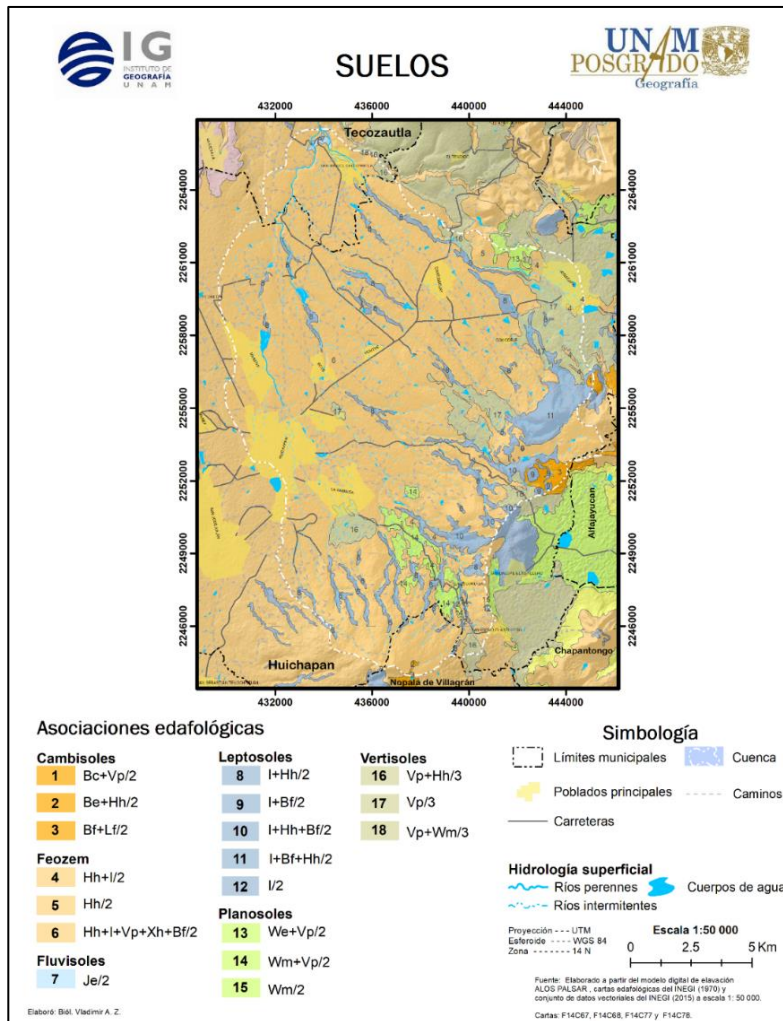


Figura 3.20. Mapa de asociaciones de suelos en la cuenca El Molino.

Tabla 3.6. Asociaciones de suelos por superficie en Km² y por porcentaje de superficie.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------|---|--|---|--|---|
| Asociaciones de suelos | Bc + Vp /2 Cambisol crómico Vertisol pélico de texturas medias | Be + Hh /2 Cambisol eútrico Feozem háplico de texturas medias | Bf + Lf /2 Cambisol férrico Luvisol férrico de texturas medias | Hh+ I /2 Feozem háplico Leptosol de texturas medias | Hh /2 Feozem háplico de texturas medias |
| Área en km ² | 0.119 | 0.098 | 1.316 | 1.435 | 1.77 |
| Porcentaje | 0.05 | 0.04 | 0.58 | 0.63 | 0.78 |

Tabla 3.6. Continúa.

| | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
|-------------------------|---|--|----------------------|---|---|---|
| Asociaciones de suelos | Hh + I + Vp + Xh + Bf /2 | Feozem háplico Leptosol Vertisol pélico Xerosol háplico Cambisol férrico de texturas medias | Je Fluvisol /2 | I + Hh Leptosol Feozem háplico de texturas medias | I + Bf Leptosol Cambisol férrico de texturas medias | I + Hh + Bf Leptosol Feozem háplico Cambisol férrico de texturas medias |
| Área en km ² | 178.292 | 0.468 | 9.58 | 0.48 | 4.21 | |
| Porcentaje | 78.22 | 0.21 | 4.21 | 0.21 | 1.85 | |

Tabla 3.6. Continúa.

| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---|--|---|
| Asociaciones de suelos | I + Bf + Hh /2 | I Leptosol de texturas medias | We + Vp Planosol eútrico Vertisol pélico de texturas medias | Wm + Vp Planosol mólico Vertisol pélico de texturas medias | Wm Planosol mólico de texturas medias |
| Área en km ² | 6 | 0.45 | 1.02 | 4.28 | 0.01 |
| Porcentaje | 2.63 | 0.2 | 0.45 | 1.88 | 0.01 |

Tabla 3.6. Continúa.

| | 16 | 17 | 18 | Total |
|-------------------------|---|---|---|--------|
| Asociaciones de suelos | Vp + Hh /3 de texturas finas | Vp Vertisol pélico /3 de texturas finas | Vp + Wm /3 de texturas finas | |
| Área en km ² | 3.82 | 13.57 | 1 | 227.93 |
| Porcentaje | 1.68 | 5.95 | 0.44 | 100 |

Descripción de las principales asociaciones de suelos:

Los Cambisoles presentan una cobertura de 1.53 km² (0.67%), son considerados como suelos jóvenes y pocos desarrollados, se presentan en cualquier tipo de clima, excepto en zonas áridas. Están localizados principalmente al este, en la parte alta de las laderas volcánicas de la caldera Huichapan y al sur, en la zona alta del volcán Nopala. Al presentar una estructura agregada favorable y un alto contenido de minerales meteorizables, se pueden aprovechar para la agricultura; sin embargo, la limitación estará dada por el tipo de clima y de terreno. Los Cambisoles se asocian con Vertisoles, Feozems y Luvisoles. Este grupo presenta una clase textural media, por lo que tienen un contenido del 35% al 40% de arcillas y menos del 50% de arena, proporcionándoles una porosidad equilibrada que permite la buena aireación y el buen drenaje.

El grupo de suelos Feozem cuenta con una superficie de 181.4 km² (79.63 %), es la asociación con mayor cobertura, su distribución comienza al sur en la parte alta del volcán Nopala hasta el norte, donde la distribución tiende a ser más homogénea. Se encuentra en diversas zonas climáticas que van desde zonas templadas hasta zonas semiáridas, así como en diversos tipos de terrenos que van desde las laderas volcánicas hasta el piedemonte mesiforme; por las anteriores condiciones, pueden presentar casi cualquier tipo de vegetación en condiciones naturales. Al ser un tipo de suelo abundante, los usos que se le dan son variados y está en función del clima y del relieve; pueden utilizarse para la agricultura de temporal o riego; sin embargo, si están presentes en laderas o valles con pendientes moderadamente pronunciadas, van a presentar rendimientos bajos ya que este tipo de suelos puede erosionarse con facilidad. Asociados a los suelos tipo Feozem se encuentran los Leptosoles, Vertisoles, Xerosoles y Cambisoles. Este grupo presenta una clase textural media.

Los Fluvisoles se caracterizan por estar formados por materiales transportados por agua, están constituidos por materiales disgregados que no presentan estructura en terrones lo que les confiere el carácter de ser suelos poco desarrollados. Este grupo está distribuido al norte, ubicado específicamente en la confluencia de los ríos perennes Pathecito y El Molinito; tiene una cobertura del 0.46 km² (0.21%). Estos suelos, al estar cercanos a lechos de ríos son suelos que pueden ser someros o profundos, arenosos o arcillosos dependiendo del tipo de material que presenten. Se encuentran en todos los climas.

Los Leptosoles, son suelos que están presentes en todos los tipos de clima, se caracterizan por tener una profundidad menor de 10 cm. hasta la roca. Se distribuyen principalmente en los valles erosivos de la cuenca cuyas pendientes van desde los 12° hasta los 45°, por lo que son suelos muy propensos a la erosión. Tienen una extensión de 20.72 km² (9.1%); la vegetación natural que se desarrolla en este tipo de suelos varía dependiendo del tipo de clima. El aprovechamiento de este tipo de suelos es meramente forestal, ya que debido a que están ubicados en los valles cuyas pendientes suelen ser de moderadas a fuertes, no permite que sean aprovechados para uso agrícola; sin embargo, cuando la vegetación es de pastizales o matorrales, se pueden realizar actividades de pastoreo. Los Leptosoles están asociados a suelos del tipo Feozem y Cambisol. Este grupo presenta una clase textural media.

Los Planosoles, son suelos que se presentan en climas templados y semiáridos; este grupo se localiza en las laderas del volcán Nopala, ubicado en la región sur y en el piedemonte mesiforme al noreste de la microcuenca, cuenta con una extensión de 5.31 km² (2.32 %). Este grupo de suelos se caracteriza por presentar debajo de la capa superficial, una capa más o menos delgada cuyo material de color claro es menos arcilloso que la capa que lo cubre, esta capa suele ser infértil y ácida, lo que impide el desarrollo de raíces; por debajo de la capa mencionada, se presenta un subsuelo muy arcilloso e impermeable haciendo que este tipo de suelo tenga problemas de drenaje. No se utilizan para la agricultura debido a que tiene rendimientos muy bajos; así mismo, son suelos muy susceptibles a la erosión en las capas más superficiales. Presentan una textura fina la cual es característica de suelos arcillosos, que tienen un mal drenaje lo que los hace propensos a inundarse, tienen poca porosidad y son duros al secarse. Se asocian con Vertisoles.

Los Vertisoles están distribuidos principalmente en la región este de la cuenca, localizados en las laderas del volcán Nopala y mayormente en las laderas de la caldera Huichapan; cuentan con una superficie de 18.39 km² (8.07 %). Este grupo de suelos está presente en climas templados y cálidos, en regiones donde las temporadas de seca y lluvias están muy marcadas. Se caracterizan por la aparición de grietas anchas y profundas que aparecen en el suelo en épocas de sequía. Su aprovechamiento para usos agrícolas a veces llega a ser complicado, debido a que su dureza dificulta labores de labranza y en época de lluvias presentan problemas de inundación y drenaje. Presentan una textura fina, por lo que más del 60% son limos y

menos del 40% son arcillas; este tipo de textura permite que los suelos tengan una alta capacidad de retención de agua y de nutrientes, por lo que son suelos con una fertilidad natural mayor y alto contenido en materia orgánica. Se asocian con los Feozem y los Planosoles.

3.2.8 Tipos de vegetación y usos de suelo

La diversidad de vegetación en conjunción con el uso de suelo que ejerce la sociedad hace que la región de estudio esté en constante cambio. Esto tiene como consecuencia que la vegetación actual esté confinada en fragmentos, incluso algunos de estos de extensión considerable, lo que no aminora su importancia y riqueza.

A nivel de unidad de análisis como son las cuencas o microcuencas, la vegetación cumple con un gran número de funciones que ayudan a mantener la estabilidad y el correcto funcionamiento de intercambio de materia y energía en dirección cuenca arriba–cuenca abajo, por lo que la perturbación a la vegetación natural y la velocidad con la que ocurre a distintas escalas espaciales y temporales comprometen los servicios ecosistémicos en la cuenca.

El conocimiento del estado de vegetación y uso de suelo es esencial para la planificación territorial y el aprovechamiento de los servicios ecosistémicos, así como para un mejor aprovechamiento sustentable del uso de suelo.

La elaboración del mapa de tipos de vegetación y usos de suelo (Figura 3.21) se llevó a cabo tomando como cartografía base el mapa del INEGI a escala 1: 250, 000, se detalló a escala 1:50, 000 tomando como referencia imágenes satelitales de Google Earth y la carta de aprovechamiento de pozos en el acuífero 1307 Huichapan–Tecoautla (COTAS, 2019); con estos insumos se establecieron de forma detallada nuevos límites entre la vegetación y usos de suelo, se distinguieron nuevas categorías: Vegetación riparia, áreas naturales protegidas, granjas avícolas, invernaderos, pozos de aprovechamiento hídrico, áreas industriales y áreas sin vegetación aparente.

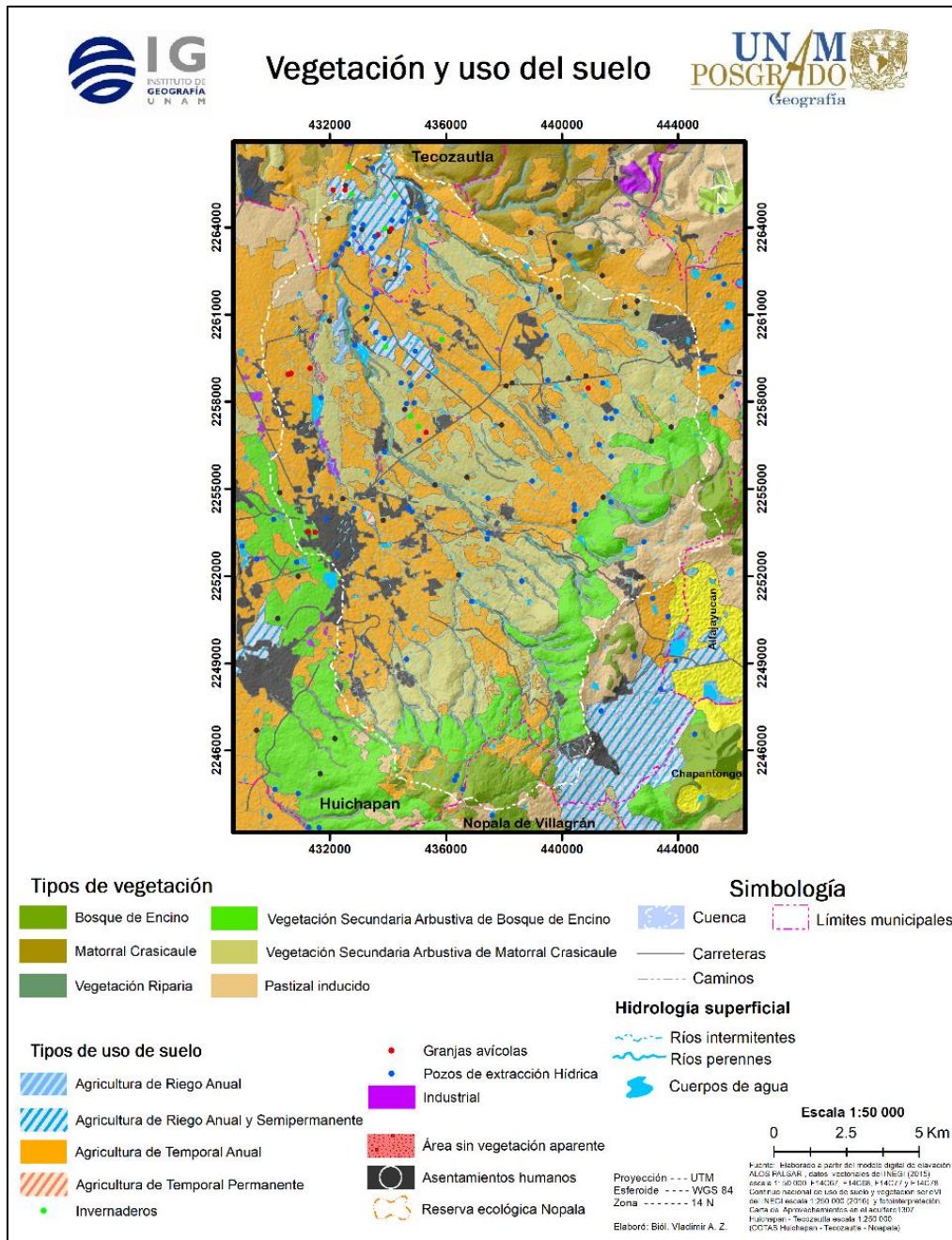


Figura 3.21. Tipos Vegetación y uso de suelo en la cuenca El Molino.

Se identificaron 13 tipos de vegetación y uso de suelos (Tabla 3.7), cuya descripción se realizó tomando en consideración la guía para la interpretación de cartografía: uso de suelo y vegetación serie VI de INEGI (2014).

Descripción de los principales tipos de vegetación y uso de suelos:
 Bosque de encino:

El bosque de encino tiene una superficie de 8.26 km², lo que corresponde al 3.62 % del total de la cuenca; está distribuido en la región sur y este a partir de los 2, 700 m de altitud. Debido a la actividad humana, los bosques de encino han sufrido perturbaciones ocasionando que su cobertura original sea transformada en vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, este tipo de vegetación tiene una superficie de 23.47 km² (10.30 %) cuya distribución empieza a partir de la cota altitudinal de los 2, 500 m en la región sur y los 2, 200 m en la región este.

Vegetación riparia:

Este tipo de vegetación se conoce también como bosque de galería y es considerada como una zona de transición e interacción entre el medio acuático y terrestre. Los límites, la estructura y el microhábitat que se desarrolla en esta cobertura vegetal están influenciados por los atributos hidrológicos y geomorfológicos en donde se encuentran desarrollados. La vegetación riparia se distribuye en las márgenes de los arroyos y ríos, debido a que se han adaptado a los regímenes de inundaciones y sequías de distinta frecuencia, magnitud y duración. Esta cobertura vegetal tiene una superficie de 11.16 Km² (4.90 %), su distribución comienza a partir de la zona sur y sureste, en la parte alta del volcán Nopala y de la Caldera Huichapan a partir de la cota altitudinal de los 2, 500 m hasta los 1, 700 m al norte de la cuenca.

Su importancia radica en que funcionan como corredores biológicos, disminuye la erosión y la posibilidad de posibles inundaciones, evitando así afectaciones a edificaciones o viviendas; así mismo, proporciona espacios para la recreación.

Matorral crasicaule

Están localizados en zonas semiáridas, la comunidad vegetal que forma el matorral crasicaule se desarrolla en suelos someros de naturaleza volcánica. La distribución de esta cobertura vegetal está limitada al sector norte de la cuenca, cuenta con una superficie de 1.46 Km² (0.64%). La vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule tiene una superficie de 60.20 km² (26.41 %), se encuentra distribuida al sur, sureste de la cuenca (en altitudes de 2, 500 m), en el centro y este (en altitudes de 2, 300 m hasta los 1, 700 m); tiene un uso pecuario, lo cual propicia su deterioro por lo que se cataloga como vegetación secundaria.

Pastizal Inducido

Los pastizales inducidos son un tipo de cobertura vegetal que se forma cuando la vegetación natural se degrada y no se permite que se desarrolle otro tipo de vegetación, son poco diversos y frecuentemente contienen especies exóticas que son consideradas como invasoras. Se desarrollan principalmente sobre terrenos planos o ligeramente inclinados; en temporadas de lluvias, este tipo de pastizal presenta un escurrimiento nulo lo que favorece los encharcamientos, durante el periodo de secas,

el suelo donde se desarrolla carece por completo de agua disponible para otras plantas, fomentando así el crecimiento y la extensión del pastizal.

En la cuenca, este tipo de vegetación tiene una cobertura de 8.80 km² (3.36%) y está distribuido principalmente en la zona este, en la parte alta de la Caldera Huichapan y en el noroeste sobre el piedemonte volcánico mesiforme. Su aprovechamiento está orientado al pastoreo para la actividad pecuaria.

Agricultura

La agricultura es el uso de suelo con mayor superficie ya que abarca 97.73 Km² (42.88 %) de extensión en la cuenca, su distribución está concentrada mayormente en el centro y norte de la cuenca, está fragmentando la vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule; en las laderas del volcán Nopala, al sur-suroeste se encuentra fragmentando al bosque de pino, la vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino y la vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule con dirección al norte, donde comienza a diversificarse este uso de suelo.

La agricultura de temporal anual tiene una extensión 88.51 Km² (38.3 %) y es considerada como la principal actividad en la región; se cultiva maíz, frijol, avena y cebada.

La agricultura de temporal permanente tiene una extensión de 0.15 km² (0.06 %), es el único uso de suelo con poca extensión y está localizado al suroeste de la cuenca; se cultiva maguey.

La agricultura de riego anual cuenta con una superficie de 1.55 km² (0.68 %), se distribuye principalmente en la parte norte de la cuenca próxima al río perenne Pathecito; se cultivan principalmente jitomates, tomates y calabaza.

La agricultura de riego anual y semipermanente tiene una superficie de 7.52 km² (3.30 %), los cultivos se distribuyen en la zona norte donde se encuentra el río perenne El Molino; en la agricultura de riego semipermanente se pueden encontrar nopal y tuna, árboles frutales y alfalfa.

Invernaderos

Los invernaderos localizados en la cuenca sirven principalmente para la agricultura de riego anual, en ellos se comienza la germinación de las plántulas de jitomates y tomates que posteriormente son trasplantados a los terrenos de cultivo de riego; por medio de la fotointerpretación de imágenes satelitales, en la cuenca se identificaron diez invernaderos distribuidos principalmente en la zona norte y centro.

Granjas avícolas

Son establecimientos agropecuarios dedicados a la crianza de aves de corral con propósito comercial. Se identificaron 11 granjas avícolas, dos están ubicadas en el suroeste, una en el centro, una al noreste, tres al noroeste y cuatro al norte de la cuenca.

Pozos de extracción hídrica

Considerando las características climáticas e hidrológicas de la región, el aprovechamiento del agua es de origen subterráneo por lo que para el uso de este recurso se utilizan pozos de extracción. La cuenca cuenta con un total de 72 pozos de aprovechamiento de los cuales 44 son de aprovechamiento superficial y están localizados principalmente en el centro, al norte y uno al sur. 25 pozos son de aprovechamiento subterráneo y están distribuidos principalmente al oeste y norte, dos de estos pozos están al sur. Tres pozos son de libre alumbramiento, están distribuidos en el centro y suroeste de la cuenca.

Industrial

Aprovechando las características geológicas de la región, el uso de suelo industrial que se identificó, tiene una cobertura de 0.64 km² (0.06%); está enfocado principalmente en la explotación de materiales pétreos como la cantera y sus derivados destinados para material de construcción u ornamental.

Asentamientos humanos

Los asentamientos humanos en la cuenca tienen una cobertura de 15.96 km² (7 %), el principal asentamiento considerado como área urbana es la cabecera municipal de la región, la cual está localizada al oeste. Cuenta con 48 localidades que están distribuidas principalmente en la región centro-norte, este y norte.

Reserva ecológica

La cuenca cuenta con una reserva ecológica cuya extensión es de 17.59 km², está localizada al sur, sobre el volcán Nopala.

Tabla 3.7. Usos de suelo y vegetación.

| COBERTURA | ÁREA Km ² | % |
|--|-------------------------|---------------|
| Bosque de encino | 8.26 | 3.62 |
| Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino | 23.47 | 10.30 |
| Matorral crasicaule | 1.46 | 0.64 |
| Vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule | 60.2 | 26.41 |
| Vegetación riparia | 11.16 | 4.90 |
| Pastizal inducido | 8.8 | 3.86 |
| Suelo desnudo | 0.25 | 0.11 |
| Agricultura de riego anual | 1.55 | 0.68 |
| Agricultura de riego anual y semipermanente | 7.52 | 3.30 |
| Agricultura de temporal anual | 88.51 | 38.83 |
| Agricultura de temporal permanente | 0.15 | 0.06 |
| Asentamientos humanos | 15.96 | 7.00 |
| Industrial | 0.64 | 0.28 |
| TOTAL | 227.93 | 100.00 |

3.2.9 Geosistemas

Los geosistemas (Figura 3.22) son unidades territoriales de análisis dentro de las cuales se puede determinar su vulnerabilidad frente a una amenaza; ya que poseen características biofísicas, sociales y económicas que están referidas en el uso de suelo, mismas que sirven como base para poder delimitarlas.

Estos geosistemas expresan relaciones dinámicas de los procesos naturales y socioeconómicos que ocurren en una unidad espacial caracterizada por la cobertura o uso de suelo en donde se concentran los problemas ambientales y sociales, esto como producto de las actividades humanas que condicionan el medio natural.

En este contexto, los geosistemas pueden jerarquizarse en un orden descendente y así mismo agruparse en unidades relacionadas entre sí (Tabla 3.8).

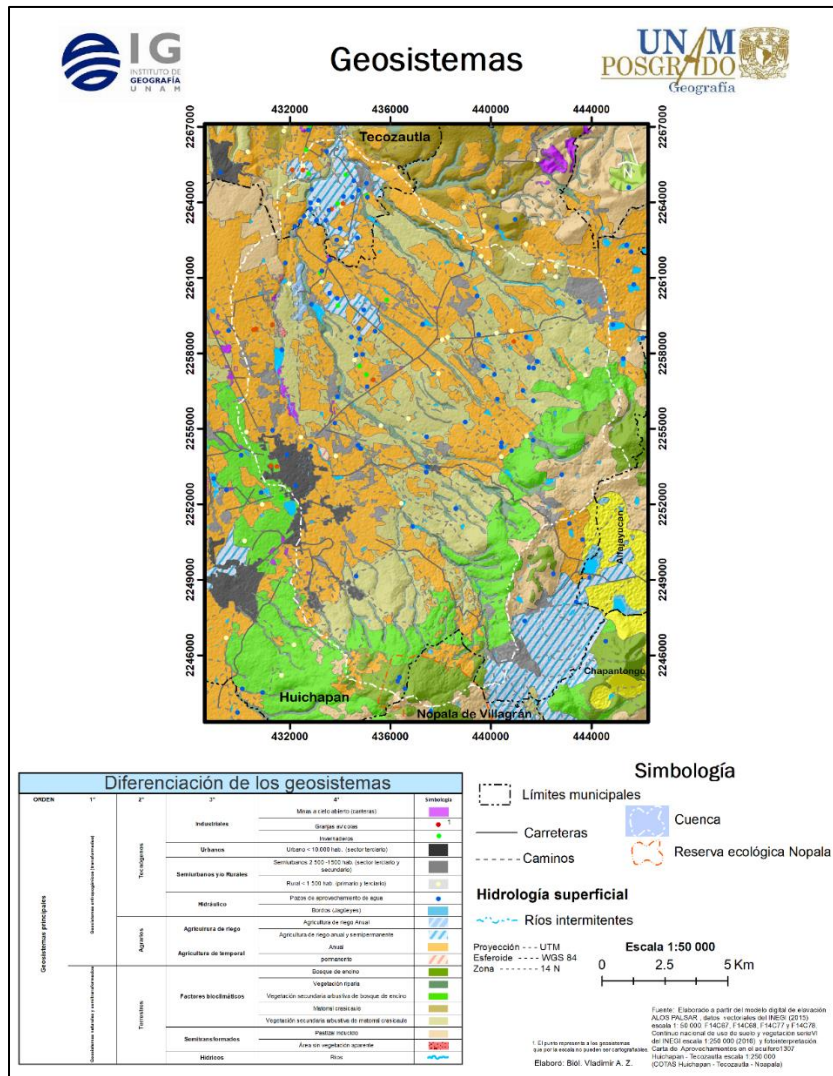


Figura 3.22. Tipos de geosistemas

La diferenciación y la jerarquización por orden en los geosistemas se realiza tomando en consideración a las actividades antrópicas como parte fundamental para transformar el espacio; los geosistemas de primer orden se dividen en antrópicos (son geosistemas transformados por la actividad humana) y, semitransformados y naturales (han sido poco o nulamente transformados).

En los geosistemas de segundo orden, los antrópicos se subdividen de acuerdo con las actividades económicas que son de influencia en la región como lo son los tecnógenos y agrarios. Los geosistemas semitransformados y naturales, se organizan según su ubicación en el medio donde se desarrollan, en este caso sólo son terrestres.

Los geosistemas de tercer orden mismos que están subordinados a los de segundo orden, se subdividen tomando en cuenta la modalidad que va influenciando el desarrollo en la región; en este sentido, los geosistemas tecnógenos se dividen en industriales, urbanos, semiurbanos y/o rurales e hidráulicos. Los geosistemas agrarios se dividen en agricultura de riego y agricultura de temporal. Los geosistemas terrestres se dividen tomando en cuenta los factores bioclimáticos e hídricos.

Los geosistemas de cuarto orden corresponden a la última categoría jerárquica, se derivan del tercer orden y con mayor detalle de acuerdo con características específicas de funcionamiento, entre otras.

Tabla 3.8. Diferenciación de los geosistemas de la cuenca El Molino.

| ORDEN | 1° | 2° | 3° | 4° | |
|--------------------------------|--|--------------------------|--|---|--|
| Geosistemas principales | Geosistemas antropogénicos (transformados) | Tecnógenos | Industriales | Minas a cielo abierto (canteras) | |
| | | | | Granjas avícolas | |
| | | | | Invernaderos | |
| | | | Urbanos | Urbano < 10.000 hab. (sector terciario) | |
| | | | | Semiurbanos y/o Rurales | Semiurbanos 2 500 -1500 hab. (sector terciario y secundario) |
| | | | Rural < 1 500 hab. (primario y terciario) | | |
| | | Hidráulico | Pozos de aprovechamiento de agua | | |
| | | | Bordos (Jagüeyes) | | |
| | | | Agrarios | Agricultura de riego | |
| | Agricultura de riego Anual | | | | |
| | Geosistemas naturales y semitransformados | Terrestres | Factores bioclimáticos | Agricultura de riego anual y semipermanente | |
| | | | | Agricultura de temporal | Anual |
| | | | | | permanente |
| | | | Factor bioclimáticos | Bosque de encino | |
| | | | | Vegetación riparia | |
| | | | | Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino | |
| | | Semitransformados | Matorral crasicaule | | |
| | | | Vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule | | |
| Pastizal inducido | | | | | |
| Hídricos | Área sin vegetación aparente | | | | |
| | Ríos | | | | |

Dentro de los geosistemas industriales (3er. Orden) se encuentran minas a cielo abierto de canteras, granjas avícolas e invernaderos (4to. orden); en los geosistemas urbanos se encuentran asentamientos con menos de 10, 000 habitantes cuya vocación económica está orientada al sector terciario, en los geosistemas semiurbanos y/o rurales se encuentran poblaciones de 2, 500 a 1, 500 habitantes cuya actividad está enfocada en el sector terciario y secundario, las localidades de menos de 1, 500 habitantes están orientadas al sector primario y terciario. En los geosistemas hidráulicos están los pozos de aprovechamiento de agua, así como los bordos.

Los geosistemas de agricultura de riego se dividen en riego anual y riego anual y semipermanente; los de agricultura de temporal en anual y permanente.

Dentro de los geosistemas influenciados por factores bioclimáticos se encuentran aquellos con cobertura forestal con o sin perturbación como son: bosque de encino, vegetación riparia, vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, matorral crasicaule, vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule. Los geosistemas semitransformados, son aquellos modificados por las actividades humanas como los geosistemas de pastizal inducido y áreas sin vegetación aparente.

Los geosistemas hídricos, son geosistemas naturales y están conformados por ríos perennes.

Diagnóstico

La cuenca El Molino tiene una configuración morfológica de tipo oval-oblonga alargada de estadio joven; es moderadamente montañosa en el sur, donde la pendiente del terreno varía de 12° a >45, lo que favorece los procesos erosivos producto de los flujos hídricos provenientes de las partes altas de la cuenca considerada como zona de recarga. La cobertura vegetal natural de la cuenca, al estar fragmentada va a disminuir la infiltración proveniente de la precipitación, lo que afecta considerablemente la recarga hídrica del acuífero; así mismo, al tener poca cobertura forestal se intensifican los procesos de erosión.

La cuenca en sí es un geosistema transformado, principalmente por geosistemas agrarios como lo son la agricultura de temporal y, la agricultura de riego anual y semipermanente; si bien estos geosistemas con actividad agrícola abarcan la mayor parte del territorio, no es la principal actividad económica que realiza la población ya que el área urbana, que tiene menos de 10, 000 habitantes, puede ser considerada como un polo de desarrollo para la región debido a las actividades terciarias que ahí se desempeñan. Así mismo, dentro de esta área se encuentran minas de canteras que son también la principal actividad económica en la región.

De acuerdo con las condiciones climáticas, es poca la precipitación anual; sin embargo, al norte de la cuenca es en donde la agricultura de riego es la actividad que mayormente se desarrolla, apoyada por el uso de invernaderos, ahí se concentran los pozos de aprovechamiento hídrico; otros pozos sirven para abastecer a las localidades semiurbanas y rurales; pero la falta de infraestructura hace que sea difícil el acceso para algunas de ellas.

Si bien la actividad agraria de temporal es la actividad con mayor extensión; esta se ha visto limitada debido al régimen pluvial, ocasionando que se pierdan las cosechas que principalmente son usadas para autoconsumo.

Los bordos (jagüeyes) son utilizados como abrevaderos para el ganado que hay en la región; sin embargo, por la poca precipitación la mayoría se encuentran secos o con niveles muy bajos para que solvente las necesidades de los productores pecuarios. Las coberturas forestales que se encuentran fragmentadas y con vegetación secundaria se utilizan como agostaderos, son pocas las acciones realizadas como la reforestación o la creación de reservas ecológicas que ayuden a frenar y a mitigar la fragmentación en la parte alta de la cuenca, la cual es considerada como zona de captación de agua.

3.2 Caracterización social

Conocer los aspectos sociales y económicos de una región nos ayuda a identificar las características de la población en estudio, esto con la finalidad de obtener información para identificar posibles factores de vulnerabilidad ante una amenaza de cualquier origen (Donner y Rodriguez, 2008). Determinar el tamaño de una población, la distribución, su estructura, etc. influye directamente al grado de exposición al momento de identificar la vulnerabilidad; lo anterior está relacionado al conjunto de problemáticas englobadas en el ámbito de lo social en un territorio que abarca situaciones relacionados con aspectos estructurales de la sociedad y con las características relacionadas con la infraestructura en la que se desenvuelve (Palacios *et al*, 2004).

Desde la planeación territorial y de la GIRD, caracterizar a la población permite evaluarla como demandante de servicios, infraestructura y equipamiento para cubrir sus necesidades básicas asociadas a la calidad de vida; también, el análisis de ciertos grupos sociales favorece la identificación de las condiciones prevalecientes de equilibrio/desequilibrio de la estructura espacial y de distribución tomando en consideración las localidades.

3.2.2 Población

La cuenca abarca la mayor parte del municipio de Huichapan y, al sur y norte, parte de los municipios de Nopala de Villagrán y Tecozautla respectivamente. Entre los poblados que alberga está principalmente el área urbana de Huichapan, la cual cuenta con un total de 9583 habitantes, es la cabecera municipal ubicada al oeste de la cuenca; también se encuentran las zonas semiurbanas de La Sabinita (2, 400 habs.) y Mamithí (2, 216 habs.), otras localidades menores son Yonthé (530 habs.) y Boyé (444 habs.). Hacia el Norte, en el municipio de Tecozautla está la localidad de San Miguel Caltepanitla con una población de 673 habitantes. Al este las localidades de Jonacapa (1, 162 habs.), Dantzibojay (1, 006 habs.) y Comodeje (246 habs.).

Igualmente, existen localidades que cuentan con más de 100 y menos de 1,000 habitantes como son: El Pedregoso (978 habs.), Maxtha (808 habs.), Vitejhé (745 habs.), Zequetejé (548 habs.), Sabina Grande (587 habs.) y Taguí (507 habs.). Las localidades con menos de 500 habitantes y más de 100 son: Bothé (420 habs.), Joñhé (312 habs.), Santa Bárbara (341 habs.), Monte Alegre (238 habs.), Dothí (231 habs.), Zamorano (216 habs.), Taxquí (230 habs.), El Gavillero (154 habs.) y San Mateo (124 habs.). Todas estas localidades se distribuyen principalmente en la parte media y baja de la cuenca.

De acuerdo con los criterios del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la población localizada al interior de la cuenca es considerada como rural, esto tomando como referencia que, dentro de ella, la población que alberga la mayoría de las localidades no es mayor a 2,500 habitantes.

Las principales localidades urbanas de la cuenca son: Huichapan (cabecera municipal y polo más importante de la región), La Sabinita, Mamithí, Boyé y Yonthé, San Miguel Caltepanitla, Jonacapa, Dantzibojay, Comodeje y La Escondida.

3.2.3 Distribución de la población

La población total de la cuenca para el año 2010, fue de 23, 817 habitantes y para el año 2020 fue de 25, 234 habitantes (Tabla 3.9); por lo que se observa un crecimiento de 1,417 habitantes en 10 años.

Tabla 3.9. Población por localidad en el año 2010 y 2020.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos censales del INEGI en el año 2020.

| Localidad | Número de habitantes en el año 2010 | Número de habitantes en el año 2020 |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Bothé | 420 | 459 |
| Boye | 497 | 444 |
| Comodeje | 212 | 246 |
| Dantzibojay | 1016 | 1006 |
| Dothí | 233 | 231 |
| El Gavillero de Mintho | 181 | 154 |
| Huichapan | 9051 | 9853 |
| Jonacapa | 1227 | 1162 |
| Jofíhe | 312 | 231 |
| La Escondida | 255 | 283 |
| La Sabinita | 2276 | 2400 |
| Mamithí | 1875 | 2216 |
| Maxtha | 703 | 808 |
| Monte Alegre | 269 | 238 |
| Pedregoso | 889 | 978 |
| Sabina Grande | 554 | 587 |
| San Mateo | 135 | 124 |
| San Miguel Caltepanitla | 673 | 661 |
| Santa Bárbara | 305 | 341 |
| Taguí | 517 | 507 |
| Taxquí | 206 | 230 |
| Vitejhé | 723 | 745 |
| Yonthé | 434 | 530 |
| Zamorano | 266 | 216 |
| Zequetejé | 588 | 584 |
| Total | 23817 | 25234 |

Las localidades con mayor número de habitantes para el año 2010 y 2020 (Figura 3.23) son: Huichapan (cabecera municipal), La Sabinita, Mamithí, Jonacapa, Dantzibojay, El Pedregoso, Vitejhé y San Miguel Cantepantla.

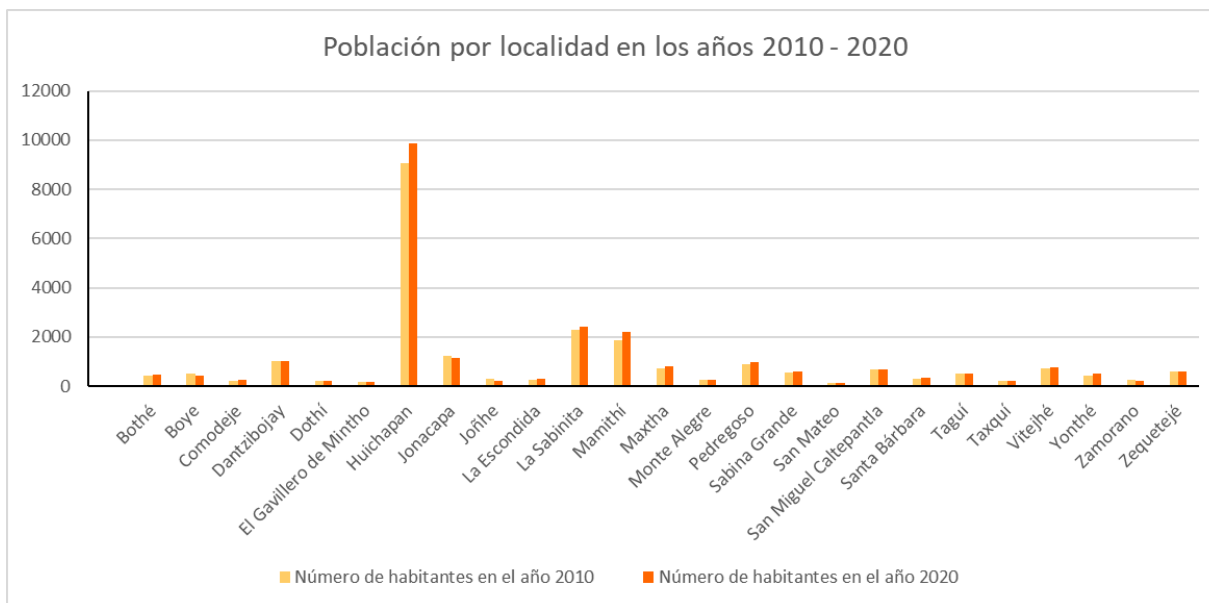


Figura 3.23. Población por localidad en los años 2010 y 2020.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos censales del INEGI en el año 2020.

Así mismo, existen algunas localidades cuya población del año 2010 al 2020 tuvieron un ligero descenso, entre 50 y 10 habitantes por localidad, las cuales son: Dothí, El Gavillero de Mintho, Joñhé, Monte Alegre, San Mateo, Taguí y Zamorano.

3.2.4 Población femenina y masculina dentro la cuenca para los años 2010 y 2020

La población femenina y masculina para el año 2010 (Tabla 3.10) era de 12, 486 y 11, 331 respectivamente. Las localidades con mayor población femenina eran: Huichapan 4,789 habitantes, La Sabinita 1, 119 habitantes, Mamithí 985 habitantes y Dantzibojay 588 habitantes cuya diferencia entre la población masculina era de 527 habitantes en la cabecera municipal de Huichapan, 104 habitantes en la localidad de La Sabinita, 110 habitantes en la localidad de Dantzibojay y 95 habitantes en la localidad de Mamithí. En contraste, la mayor población con habitantes masculinos estuvo concentrada en la localidad denominada El Gavillero de Mintho.

En el año 2020, la población femenina era de 13,131 y para la masculina de 12,103 (Tabla 3.11). La cabecera municipal de Huichapan sigue siendo la localidad con mayor población femenina (5, 224) seguido de La Sabinita (1, 241) y Mamithí (1,146,) con una diferencia de la población masculina en la cabecera municipal de Huichapan de 595, 104 en la localidad de La Sabinita y 76 en Mamithí. Las demás localidades no presentan mayor diferencia entre la población femenina y masculina.

Tabla 3.10. Población femenina y masculina por localidad en el año 2010.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos censales del INEGI en el año 2010.

| Población por localidad de la cuenca El Molino en el año 2010 | | |
|---|--------------------|---------------------|
| Localidad | Población Femenina | Población Masculina |
| Bothé | 225 | 195 |
| Boye | 266 | 231 |
| Comodeje | 109 | 103 |
| Dantzibojay | 538 | 478 |
| Dothí | 122 | 111 |
| El Gavillero de Mintho | 89 | 92 |
| Huichapan | 4789 | 4262 |
| Jonacapa | 633 | 594 |
| Joñhe | 159 | 153 |
| La Escondida | 132 | 123 |
| La Sabinita | 1190 | 1086 |
| Mamithí | 985 | 890 |
| Maxtha | 368 | 335 |
| Monte Alegre | 144 | 125 |
| Pedregoso | 462 | 427 |
| Sabina Grande | 290 | 264 |
| San Mateo | 77 | 58 |
| San Miguel Caltepanitla | 339 | 334 |
| Santa Bárbara | 164 | 141 |
| Taguí | 256 | 261 |
| Taxquí | 117 | 89 |
| Vitejhé | 373 | 350 |
| Yonthé | 224 | 210 |
| Zamorano | 137 | 129 |
| Zequetejé | 298 | 290 |
| Total | 12486 | 11331 |

Tabla 3.11. Población femenina y masculina por localidad en el año 2020.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos censales del INEGI en el año 2020.

| Población por localidad de la cuenca El Molino en el año 2020 | | |
|---|--------------------|---------------------|
| Localidad | Población Femenina | Población Masculina |
| Bothé | 243 | 216 |
| Boye | 227 | 217 |
| Comodeje | 127 | 119 |
| Dantzibojay | 500 | 506 |
| Dothí | 123 | 108 |
| El Gavillero de Mintho | 79 | 75 |
| Huichapan | 5224 | 4629 |
| Jonacapa | 583 | 579 |
| Joñhé | 118 | 113 |
| La Escondida | 137 | 146 |
| La Sabinita | 1241 | 1159 |
| Mamithí | 1146 | 1070 |
| Maxthá | 423 | 385 |
| Monte Alegre | 125 | 113 |
| Pedregoso | 503 | 475 |
| Sabina Grande | 310 | 277 |
| San Mateo | 67 | 57 |
| San Miguel Caltepanitla | 323 | 338 |
| Santa Bárbara | 193 | 148 |
| Taguí | 261 | 246 |
| Taxquí | 132 | 98 |
| Vitejhé | 380 | 365 |
| Yonthé | 264 | 266 |
| Zamorano | 111 | 105 |
| Zequetejé | 291 | 293 |
| Total | 13131 | 12103 |

3.2.5 Población por edades

La pirámide poblacional del año 2020 conformada por grupos quinquenales (Figura 3.24) muestra que predomina la población joven, entre los 0 y 19 años.

En el grupo de población de 20 a 54 años se aprecia una diferencia entre la población femenina y masculina, esta última con una notable disminución de la población a partir de los 25 a 29 años y que va descendiendo hasta la población de los 30 a 34 años; esto pudiera estar relacionado con procesos de migración de la población masculina que es económicamente activa. La población femenina de los 30 a los 34 años considerada como la población económicamente activa es la que predomina.

A partir de los grupos quinquenales de 45 a 85 y más años, se nota un descenso homogéneo en la población masculina y femenina.

Finalmente, la pirámide poblacional indica que predomina una población joven, particularmente del género femenino, esto debido a que la población masculina que es considerada como la económicamente activa comienza el proceso de migración

A partir de los 40 años en adelante, se nota que esta población masculina regresa a su lugar de origen notándose en un descenso homogéneo de la población.

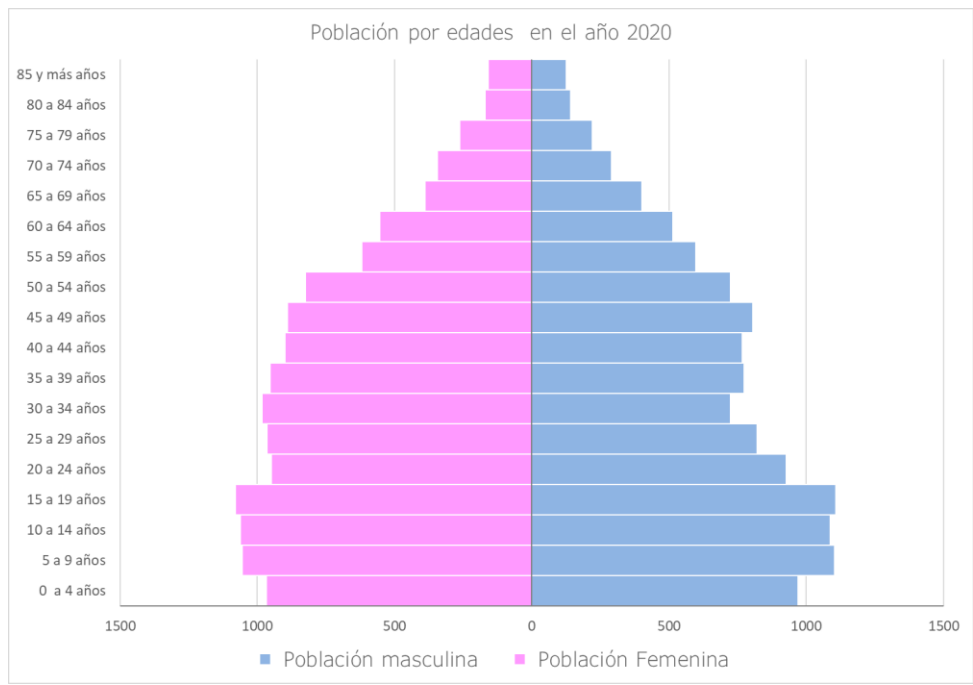


Figura 3.24. Pirámide poblacional por edades quinquenales del año 2020.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos censales del INEGI en el año 2020.

3.2.6 Población por total de la cuenca de los años 1940 - 2020

A partir de la información censal se nota que el crecimiento poblacional de la cuenca (Figura 3.25) para los años 1940 a 2020, va incrementando, ya que la población en el año 1940 (Tabla 3.12) era de 9, 523 habitantes y finalmente para el año 2020 es de 25, 234; es decir, en 80 años la población aumentó en 15, 711 habitantes.

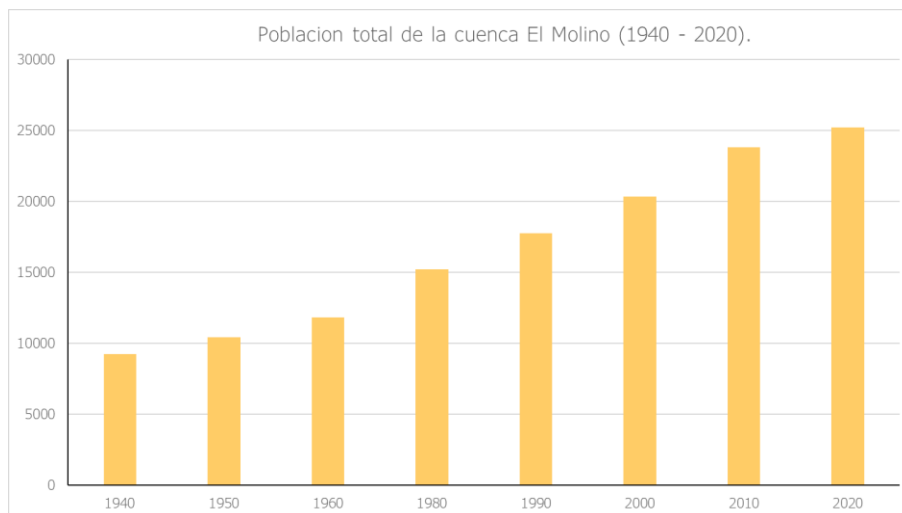


Figura 3.25. Crecimiento poblacional de la cuenca en los años 1940 – 2020.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos censales del INEGI de 1940 - 2020.

Este aumento de la población puede relacionarse con la creación de nuevas localidades, ya que en 1940 había 9, 253 habitantes distribuidos en 20 localidades; mientras que, para 1990, se contaba ya con 25 localidades y con una población total para ese año de 17,752 habitantes.

En 1940, las localidades con más de 500 habitantes eran Huichapan, Jonacapa, La Sabinita, El Pedregoso, San Miguel Cantepantla y Zequetejé. Para el año 1950, Dantzibojay y Mamithí contaban con más de 500 habitantes; en 1960 la localidad de Bothé tenía 516 habitantes. No se encontraron registros censales por localidad para el año de 1970; para el año 1980, comienzan los primeros registros censales para la localidad denominada La Escondida, la cual contaba con apenas 185 habitantes; la localidad de El Pedregoso ya cuenta con más de 500 habitantes y se aprecia una disminución en la localidad de Zequetejé, esta disminución podría inferirse a que hubo procesos de migración. En el año de 1990, comienza a haber registros censales de nuevas localidades como son El Gavillero de Mintho, Joñhé, San Mateo y Santa Bárbara; la localidad de Vitejhé ya cuenta con más de 500 habitantes.

En el año 2000, las localidades de Maxthá y Sabina Grande cuentan ya con más de 500 habitantes en comparación con el año de 1990, para el año 2010 y 2020 las localidades de Taguí y Yonthé registran más de 500 habitantes.

La localidad de San Miguel Cantepantla a partir de 1980 al año 2020 ha registrado un descenso de la población lo que podría estar relacionado a procesos de migración; esta localidad, es considerada como una comunidad con población indígena según lo reportado por la Ley de Derechos y Cultura Indígena Para el Estado de Hidalgo (2014).

Tabla 3.12. Población por localidad en los años 1940 – 2020.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos censales del INEGI de 1940 - 2020.

| Localidad | 1940 | 1950 | 1960 | 1980 | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 |
|-------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Bothé | 455 | 408 | 516 | 371 | 355 | 354 | 420 | 459 |
| Boye | 157 | 157 | 189 | 364 | 422 | 447 | 497 | 444 |
| Comodeje | 138 | 157 | 267 | 331 | 158 | 162 | 212 | 246 |
| Dantzibojay | 450 | 760 | 794 | 756 | 858 | 962 | 1016 | 1006 |
| Dothí | 179 | 176 | 180 | 172 | 197 | 198 | 233 | 231 |
| El Gavillero de Mintho | | | | | 237 | 216 | 181 | 154 |
| Huichapan | 1927 | 2197 | 2606 | 4727 | 6212 | 7624 | 9051 | 9853 |
| Jonacapa | 993 | 1247 | 1163 | 1172 | 1027 | 958 | 1227 | 1162 |
| Joñhé | | | | | 192 | 265 | 312 | 231 |
| La Escondida | | | | 185 | 166 | 205 | 255 | 283 |
| La Sabinita | 1098 | 1011 | 1266 | 1407 | 1654 | 1809 | 2276 | 2400 |
| Mamithí | 366 | 759 | 823 | 1263 | 1334 | 1625 | 1875 | 2216 |
| Maxthá | 150 | 230 | 228 | 398 | 436 | 687 | 703 | 808 |
| Monte Alegre | 215 | 116 | | 108 | 196 | 211 | 269 | 238 |
| Pedregoso | 554 | 336 | 465 | 552 | 717 | 795 | 889 | 978 |
| Sabina Grande | 295 | 360 | 446 | 480 | 426 | 535 | 554 | 587 |
| San Mateo | | | | | 131 | 96 | 135 | 124 |
| San Miguel Caltepanitla | 846 | 955 | 940 | 1016 | 792 | 667 | 673 | 661 |
| Santa Bárbara | | | | | 79 | 115 | 305 | 341 |
| Taguí | 245 | 278 | 341 | 454 | 411 | 496 | 517 | 507 |
| Taxquí | 92 | 120 | 146 | 183 | 179 | 180 | 206 | 230 |
| Vitejhé | 324 | 381 | 430 | 423 | 542 | 615 | 723 | 745 |
| Yonthé | 143 | 175 | 299 | 253 | 346 | 403 | 434 | 530 |
| Zamorano | 108 | 131 | 142 | 178 | 213 | 228 | 266 | 216 |
| Zequetejé | 518 | 455 | 598 | 414 | 472 | 506 | 588 | 584 |
| Total | 9253 | 10409 | 11839 | 15207 | 17752 | 20359 | 23817 | 25234 |

3.2.7 Población Económicamente Activa y Principales actividades económicas

La Población Económicamente Activa (PEA) se refiere a todas aquellas personas en edad de trabajar, que contaban con alguna ocupación o no durante el periodo de referencia y que estaban en búsqueda de alguno. La PEA se divide en grupos, a los que se les denomina: ocupados, desocupados e inactivos; este último grupo alberga todos aquellos individuos que dedican su tiempo a actividades como el estudio o el hogar y, por lo tanto, no generan bienes ni servicios para el mercado; así mismo también están incluidas aquellas personas que ya son pensionadas o jubiladas (INEGI, 2002).

La PEA para la región de estudio (Tabla 3.13) es de 12, 094 habitantes, lo que corresponde al 47.9%; la población económicamente ocupada es de 11, 823 habitantes (46.9 %), mientras que la población económicamente inactiva es de 8, 089 habitantes esto representa al 32.06 % y finalmente la población desocupada es de 271 habitantes (1.1 %).

Lo anterior indica que casi la mitad de la población está en condiciones de laborar, por lo que, en este sentido, la mayor parte de población está laborando o en búsqueda de alguna ocupación; en relación con lo anterior y tomando en

consideración la pirámide poblacional (Figura 3.24), esta población se ve reflejada en hombres con edades a partir de 25 años hasta los 45 a 49 años que laboran fuera de la región de estudio.

Dentro de la PEA, la mayor parte de la población se dedica al sector terciario (48.76 %), es decir está enfocada en actividades de comercio formal (tiendas de conveniencia, mercado público, supermercados, etc.), turismo y servicios financieros. El 37.59 % de la población se dedica al sector secundario enfocadas en actividades industriales como: bancos de material de diferente tipo, laminadoras de cantera y maquiladoras principalmente. El 12.29% de la población está dedicada al sector primario en actividades agrícolas y pecuarias; finalmente el 1.36 % está orientado al sector agropecuario (PMD–H, 2020).

La Tabla 3.13 muestra que la mayor parte de la población ocupada está concentrada en la cabecera municipal ya que cuenta con 4,977 (42.07%), esto debido a que ahí están concentradas las mayores fuentes de empleo; las demás localidades mantienen un rango de equidad entre la población económicamente activa y ocupada.

Tabla 3.13. Población Económicamente Activa por localidad en el año 2020.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos censales del INEGI en el año 2020.

| Localidad | PEA | PEA OCUPADA | PEA DESOCUPADA | PEA INACTIVA |
|-------------------------|--------------|--------------|----------------|--------------|
| Bothé | 190 | 189 | 1 | 179 |
| Boye | 172 | 165 | 7 | 182 |
| Comodeje | 93 | 93 | 0 | 103 |
| Dantzibojay | 329 | 315 | 14 | 457 |
| Dothí | 110 | 109 | 1 | 90 |
| El Gavillero de Mintho | 76 | 74 | 2 | 39 |
| Huichapan | 5088 | 4977 | 111 | 2921 |
| Jonacapa | 549 | 543 | 6 | 419 |
| Joñhé | 121 | 119 | 2 | 75 |
| La Escondida | 143 | 142 | 1 | 76 |
| La Sabinita | 1129 | 1109 | 20 | 769 |
| Mamithí | 1150 | 1136 | 14 | 584 |
| Maxthá | 272 | 271 | 1 | 340 |
| Monte Alegre | 90 | 89 | 1 | 102 |
| Pedregoso | 462 | 446 | 16 | 314 |
| Sabina Grande | 273 | 249 | 24 | 198 |
| San Mateo | 43 | 43 | 0 | 42 |
| San Miguel Caltepanitla | 327 | 327 | 0 | 215 |
| Santa Bárbara | 199 | 198 | 1 | 76 |
| Taguí | 214 | 213 | 1 | 186 |
| Taxquí | 96 | 73 | 23 | 84 |
| Vitejhé | 359 | 353 | 6 | 222 |
| Yonthé | 212 | 201 | 11 | 184 |
| Zamorano | 93 | 93 | 0 | 64 |
| Zequetejé | 304 | 296 | 8 | 168 |
| Total | 12094 | 11823 | 271 | 8089 |

La población económicamente inactiva está conformada principalmente por mujeres que se dedican a los quehaceres del hogar (49 %), seguido de los estudiantes que representan el 31.6 % y, finalmente, el 19.4% lo conforman las personas que se

dedican a otras actividades no económicas, jubilados y personas con discapacidad física o mental (PMD–H, 2020).

La distribución de la población económicamente ocupada está ilustrada en la Figura 3.25 que muestra, en un primer plano, a la población que se dedica al sector primario y que está distribuida por categorías; en este aspecto, el mayor porcentaje de la distribución de la población económicamente ocupada está relacionada con los trabajadores de apoyo en actividades agrícolas (8.03 %), cabe destacar que, aunque es la actividad con mayor porcentaje, no es la principal fuente de ingresos de la población. El 5.07 % lo representan aquellos trabajadores de apoyo en la construcción y el 4.16 % las trabajadoras domésticas.

El 7.17% de la población ocupada está enfocada a empleados de ventas, despachadores y dependientes en comercios; el 5.24 % lo representan los trabajadores de comercios, estas categorías de la población están relacionadas con el sector terciario y es considerado como la principal fuente de ingresos en la región.

Los agricultores representan el 4.19 %, es decir, es poca la población que se dedica a esta actividad primaria, pero emplean a trabajadores que sirven de apoyo para llevarla a cabo.

El sector cuaternario que está relacionado con la investigación y desarrollo está representado por menos del 1% de la población y, por lo tanto, al igual que otras actividades económicas no son visibles en la imagen.

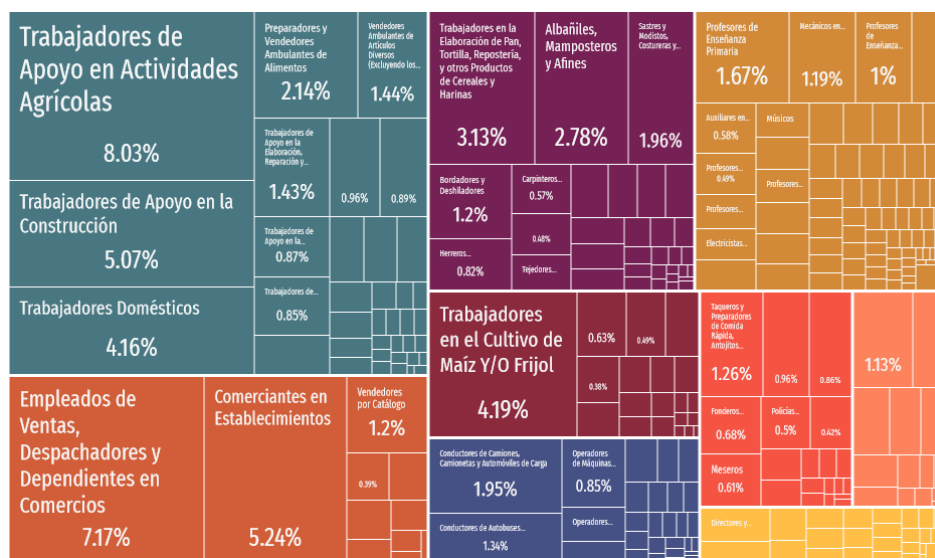


Figura 3.25 Distribución del trabajo de la población económicamente ocupada en el año 2020.

Fuente: Datamexico.org, 2020.

3.2.8 Infraestructura hídrica en viviendas

La obtención de agua potable en la cuenca es principalmente del subsuelo por medio del acuífero denominado “Huichapan-Tecoautla”; sin embargo, el acuífero presenta la problemática de sobreexplotación, lo que representa un gran reto en lo que respecta a la gestión integral del agua y por consecuencia un área de oportunidad para la GIRD.

En lo que concierne a la infraestructura hídrica para la distribución y almacenamiento del agua (Tabla 3.14), se tiene que de las 7,010 viviendas habitadas en la región 6,941 tienen disponibilidad de agua entubada y solo 133 viviendas no disponen de este servicio; para el almacenamiento del agua, las viviendas que disponen de tinaco son 5820, con cisterna o aljibe 967 y solo 22 no disponen de agua y drenaje.

El PMD de Huichapan 2020 – 2024, menciona que dentro de la región se tienen seis plantas de tratamiento de aguas residuales, una de ellas está ubicada en la localidad de Jonacapa. Finalmente, el mismo PMD menciona que no se cuenta con infraestructura de desagüe pluvial, lo que representa un área de oportunidad para la gestión del agua, considerando la problemática que representa el acuífero.

Tabla 3.14. Infraestructura hídrica en las viviendas por localidad.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos de la CONAPO en el año 2020.

| Localidad | Viviendas totales | Viviendas habitadas | Viviendas c/disponibilidad de agua entubada | Viviendas que no tienen disponibilidad de agua entubada | Viviendas que tienen tinaco | Viviendas con cisterna o aljibe | Viviendas que no tienen agua ni drenaje |
|-------------------------|-------------------|---------------------|---|---|-----------------------------|---------------------------------|---|
| Bothé | 226 | 129 | 117 | 11 | 67 | 18 | 3 |
| Boye | 144 | 113 | 110 | 3 | 71 | 12 | 0 |
| Comodeje | 71 | 59 | 56 | 3 | 35 | 21 | 0 |
| Dantzibojay | 449 | 267 | 263 | 4 | 225 | 34 | 0 |
| Dothí | 83 | 64 | 59 | 4 | 41 | 9 | 1 |
| El Gavillero de Mintho | 65 | 35 | 34 | 0 | 22 | 3 | 0 |
| Huichapan | 4022 | 2937 | 2916 | 4 | 2670 | 443 | 1 |
| Jonacapa | 585 | 337 | 329 | 8 | 295 | 64 | 0 |
| Joñhé | 120 | 70 | 70 | 0 | 61 | 11 | 0 |
| La Escondida | 89 | 74 | 71 | 3 | 32 | 3 | 1 |
| La Sabinita | 796 | 629 | 601 | 25 | 505 | 89 | 3 |
| Mamithí | 737 | 579 | 558 | 17 | 456 | 55 | 2 |
| Maxthá | 263 | 186 | 181 | 5 | 163 | 35 | 0 |
| Monte Alegre | 91 | 57 | 56 | 0 | 38 | 4 | 0 |
| Pedregoso | 392 | 272 | 253 | 17 | 224 | 50 | 4 |
| Sabina Grande | 216 | 147 | 145 | 1 | 128 | 11 | 0 |
| San Mateo | 43 | 31 | 30 | 0 | 25 | 1 | 0 |
| San Miguel Caltepanitla | 343 | 198 | 197 | 1 | 165 | 23 | 0 |
| Santa Bárbara | 162 | 97 | 97 | 0 | 85 | 7 | 0 |
| Taquí | 212 | 132 | 130 | 2 | 97 | 16 | 1 |
| Taxquí | 72 | 59 | 53 | 4 | 44 | 9 | 1 |
| Vitejhé | 272 | 200 | 191 | 8 | 125 | 14 | 1 |
| Yonthe | 169 | 128 | 124 | 4 | 81 | 12 | 1 |
| Zamorano | 73 | 50 | 49 | 1 | 31 | 3 | 0 |
| Zequetejé | 251 | 160 | 151 | 8 | 134 | 20 | 3 |
| Total | 9946 | 7010 | 6841 | 133 | 5820 | 967 | 22 |

3.2.9 Marginación

El grado de marginación (Tabla 3.15) por localidad permite diferenciar a las localidades tomando en cuenta las carencias que padece la población; para identificar el grado de marginación se utilizaron datos del Consejo Nacional de Población (CONAPO) del año 2020, éstos muestran que en, la cuenca, el grado de marginación es de bajo a muy bajo, exceptuando la localidad denominada Zamorano la cual presenta un grado de marginación medio.

Lo anterior está relacionado con las actividades económicas que se desarrollan en la región, ya que las principales actividades están orientadas al sector terciario y secundario; con respecto a este último sector, la industrias dedicadas a la extracción de materiales pétreos como es la cantera y su procesamiento como son las laminadoras y diversas fábricas tienen un impacto social y económico para las localidades (Peralta *et al.*, 2017). Así mismo, la cabecera municipal es considerada como un polo de desarrollo para el sector terciario y tiene gran influencia para las localidades cercanas en términos de oferta laboral.

Tabla 3.15 Grado de marginación por localidad.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos de la CONAPO en el año 2020.

| Nombre de la localidad | Grado de marginación |
|-------------------------|----------------------|
| Bothé | Bajo |
| Boye | Bajo |
| Comodeje | Bajo |
| Dantzibojay | Bajo |
| Dothí | Bajo |
| El Gavillero de Mintho | Bajo |
| Huichapan | Muy bajo |
| Jonacapa | Muy bajo |
| Jofñhé | Muy bajo |
| La Escondida | Bajo |
| La Sabinita | Bajo |
| Mamithí | Muy bajo |
| Maxthá | Bajo |
| Monte Alegre | Muy bajo |
| Pedregoso | Muy bajo |
| Sabina Grande | Muy bajo |
| San Mateo | Muy bajo |
| San Miguel Caltepanitla | Muy bajo |
| Santa Bárbara | Muy bajo |
| Taguí | Bajo |
| Taxquí | Bajo |
| Vitejhé | Bajo |
| Yonthé | Bajo |
| Zamorano | Medio |
| Zequetejé | Muy bajo |

3.2.10 Migración

Los datos sobre la migración, a nivel municipal, fueron obtenidos del Censo poblacional del año 2020 realizado por el INEGI, esta información muestra, a nivel general, las principales causas y tipo de migración que se presenta en los municipios.

Se observa que para los municipios de Huichapan y Tecozautla (Tabla 3.16) en donde está asentada la mayoría de las localidades, la población migrante no es mayor a 500. También se puede observar que el tipo de migración es interestatal principalmente y los motivos son mayormente familiares, por oferta y búsqueda de trabajo.

Tabla 3.16 Principales causas de migración en los municipios.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos censales del INEGI en el año 2020.

| Causa de la migración entre marzo de 2015 y marzo de 2020 | | | | | | | | | |
|---|------------------------------------|----------------|----------------------------|-------------------------|----------------|----------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| Municipio de residencia en el 2015 | Población de 5 años o más migrante | Buscar trabajo | Cambio u oferta de trabajo | Reunirse con la familia | Se casó o unió | Estudiar | Por inseguridad delictiva o violencia | Por desastres naturales | Tipo de migración |
| Huichapan | 408 | 53 | 67 | 147 | 63 | 32 | 3 | 0 | Intraestatal |
| Tecozautla | 165 | 16 | 20 | 61 | 29 | 20 | 1 | 0 | Intraestatal |

Las migraciones que se originan en el proceso de desarrollo socioeconómico son una manifestación de la interrelación en la dinámica poblacional, de las transformaciones en la estructura productiva de una región y de la distribución de los recursos. A escala local, la migración es un proceso a nivel individual que se decide tomando en cuenta criterios basados en lo económico; es decir, un individuo decide migrar porque el cálculo costo-beneficio es mayor, lo que implica que el traslado desde su lugar de origen hacia otro destino le traerá mayores beneficios económicos, por lo que la población que migra opta para ir a lugares donde puede ser más productiva (Franco Sánchez, 2012).

Tomando en consideración la distribución del trabajo (Figura 3.25) y la pirámide de población (Figura 3.24), la principal migración se da entre la población de sexo masculino haciéndose notoria entre las edades de los 20 a los 34 años, esta población pudo emigrar quizás en búsqueda de mejores fuentes de empleo y que podría o no haber en la cuenca; así mismo en la población joven de los 20 a los 24 años, la migración podría estar influenciada principalmente por el estudio y la búsqueda de mejores condiciones laborales.

La migración intraestatal está relacionada según Franco Sánchez (2012) se vincula a los migrantes que al tener una educación formal desean obtener un ingreso superior a la de la población no migrante y que en, este caso, se trata de un proceso de recomposición espacial de la fuerza de trabajo que se vincula en, cierta medida, con las desigualdades espaciales entre la educación y los salarios.

CAPÍTULO 4. Aplicación y resultados de la metodología diseñada

Este capítulo presenta el diseño de la metodología (Figura 4.1) y los resultados para la identificación de la vulnerabilidad socioambiental ante el fenómeno de la sequía meteorológica, la propuesta metodológica parte, en primer lugar, de la caracterización de la amenaza por sequía meteorológica, estimada a través del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI, por sus siglas en inglés), el cual consiste en una investigación de datos que previamente fueron calculados para obtener los valores de 3, 6 y 12 meses, con la finalidad de conocer la intensidad y la frecuencia de la amenaza. La interpretación de la información obtenida ya es de gran utilidad para que a los tomadores de decisiones les sea más sencillo establecer las medidas preventivas para enfrentar al fenómeno de la sequía.

Modelo conceptual para la elaboración del análisis y la identificación de la vulnerabilidad de riesgo por sequía meteorológica en la cuenca del molinito en Huichapan, Hidalgo.

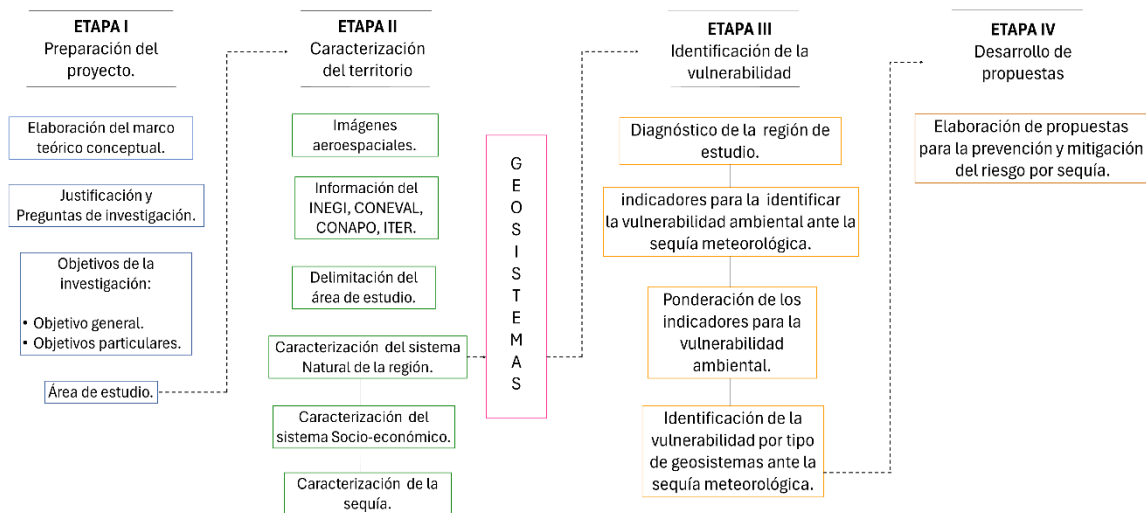


Figura 4.1 Diseño conceptual de la metodología para la identificación socioambiental ante la sequía meteorológica.

Fuente: Modelo conceptual modificado de Oropeza *et al.* 2017

El segundo paso propuesto es el empleo del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) cuyo desarrollo facilita estructurar, sintetizar, medir y definir criterios para la identificación de la vulnerabilidad; igualmente, el AHP es un método que se utiliza para modelar un sistema complejo, como es el caso de una cuenca, por medio de una estructura jerárquica en la cual se muestran las relaciones entre los diferentes criterios utilizados y el objetivo. Así mismo, para determinar la vulnerabilidad, este modelo permite subdividir jerárquicamente, en orden de

importancia, los componentes del problema que se analiza y, así, tener una visión de conjunto del mismo.

4.2 Obtención del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)

El análisis de la sequía consiste en la caracterización del fenómeno, generalmente se realiza mediante el desarrollo de índices; al igual que existen múltiples definiciones de sequía también existen múltiples indicadores; por lo que el indicador o índice más sencillo es aquel que se produce de manera operativa y es libre de utilizar.

La función que desempeñan los índices e indicadores es la de formar parte de un sistema de alerta temprana de la sequía, misma que debe estar incluida en una estrategia integral en la gestión del riesgo de desastres en la que se tenga en cuenta el manejo de los ecosistemas, así como del recurso hídrico.

Los indicadores e índices se clasifican por tipo y facilidad de uso, agrupándose en las siguientes categorías según la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2016):

- a) meteorología
- b) humedad del suelo
- c) hidrología
- d) teledetección
- e) mixto o modelado

En este contexto, los índices más simples solo hacen uso de la precipitación media; por lo que un índice de sequía que utiliza como principal dato la precipitación, se enmarca en una sequía meteorológica. Uno de los índices que son considerados como sencillos, es el denominado Índice de Precipitación Estandarizado (Standardized Precipitation Index, SPI) desarrollado por Mckee y otros (1993), el cual es calificado como un potente y flexible índice sencillo de calcular, cuyo único parámetro de entrada son los datos de precipitación, con el cual se pueden analizar periodos húmedos como secos (OMM, 2012).

Se basa en la probabilidad de precipitación para cualquier escala temporal, en donde la precipitación se transforma en un índice para cuantificar el déficit de precipitación para varias escalas temporales, las cuales se ven reflejadas en la disponibilidad de los diferentes recursos hídricos (OMM, 2012).

El cálculo del SPI, para cualquier lugar, se basa en el registro de precipitaciones a largo plazo en un periodo deseado, el cual se ajusta a una distribución de probabilidades y se transforma en una distribución normal la cual es cero. Así, los valores positivos del SPI indican que la precipitación es mayor que la mediana y los valores negativos se asume que son menores a la mediana. De esta forma, se usa un sistema de clasificación mostrado en un cuadro de valores de SPI (Tabla 4.1) que

define las diversas intensidades de la sequía de acuerdo con los valores del SPI a distintas escalas temporales.

Tabla 4.1 Valores del Índice de Precipitación Estandarizado.

Fuente: McKee, 1993.

| Escala de medición | Categoría |
|--------------------|---------------------------------|
| 2.0 o Más | Extremadamente húmedo |
| 1.5 a 1.99 | Muy húmedo |
| 1.0 a 1.49 | Moderadamente húmedo |
| -0.99 a 0.99 | Normal o aproximadamente normal |
| -1.0 a - 1.49 | Moderadamente seco |
| -1.5 a -1.99 | Severamente seco |
| -2 y menos | Extremadamente seco |

El SPI puede calcularse para diversas escalas temporales como son: 1, 3, 6, 9, 12, 24 y 48 meses, lo cual permite evaluar la severidad de la sequía en el corto, mediano y largo plazo. Se decidió utilizar 3, 6 y 12 meses para poder visualizar la tendencia en el corto, mediano y largo plazo, también para poder identificar las posibles consecuencias en el territorio.

4.2.1 Escalas temporales del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)

SPI de 3 meses: Ofrece una comparación de la precipitación en una escala de 3 meses, por lo que un SPI al final del tercer mes compara el total de precipitaciones de los dos meses anteriores más el tercero. Se recomienda comparar el SPI de 3 meses con escalas temporales más largas, ya que un periodo de humedad que podría considerarse normal podría ocurrir en medio de una sequía que puede ser de larga duración y la cual únicamente sería observable en un periodo largo. El SPI de 3 meses es a menudo utilizado para evaluar condiciones de humedad de suelo.

SPI de 6 meses: Compara la precipitación en un tiempo de 6 meses, por lo que al final del sexto estamos evaluando cinco meses atrás más el sexto. Esta escala de seis meses nos indica tendencias de precipitación en distintas estaciones, así mismo la información derivada de este SPI refleja caudales fluviales, así como posibles efectos en la agricultura la cual está en función de la región y de la época del año.

SPI de 12 meses: Este índice refleja patrones de precipitación a largo plazo, es una comparación de la precipitación a 12 meses consecutivos de los años en que se dispone de los datos. Estos datos son el resultado acumulado de periodos más cortos que pueden estar por encima o por debajo de lo normal, al ser un índice de largo plazo, este tiende a situarse en cero, al menos que se esté presentado una tendencia húmeda o seca. Este índice generalmente se vincula con cauces fluviales y niveles de reservorios de aguas subterráneas.

4.2.2 INFORMACIÓN OBTENIDA

Los registros de SPI a escala temporal de 3, 6 y 12 meses que se utilizaron para caracterizar la sequía, se obtuvieron de la biblioteca de datos climáticos, la cual se encuentra disponible en la página web del IRI²⁴ (*International Research Institute for Climate and Society*), esto debido a que los registros para años anteriores al 2014, la cual es la línea base que toma el Monitor de Sequía en México del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) no están disponibles.

Así mismo, en la base de datos del SMN hay una gran variación en los registros existentes en las estaciones meteorológicas para la región, lo que dificulta el cálculo del SPI cuando existe vacío en los registros en escalas de tiempo mayores a 3 meses. En este sentido, la base de datos que proporciona el portal *IRI*, ofrece datos del SPI en las escalas de tiempo de 1, 3, 6, 12 y 24 meses, desde los años de 1970 hasta la fecha.

Como se mencionó anteriormente, para la obtención del SPI de 3, 6 y 12 meses fue necesario generar una grilla con los parámetros de las coordenadas en grados decimales, esto permite al portal elaborar un parámetro que delimita de forma regional la obtención de los índices.

Cabe recordar que el fenómeno de la sequía se da a escala regional; por lo tanto, para obtener los parámetros del SPI en la cuadrícula generada en el portal (Figura 4.2) fue de por lo menos dos grados para la latitud y la longitud, obteniendo con esto un parámetro de restricción de datos. Las coordenadas ingresadas al portal fueron Longitud: 98° a 100° oeste y Latitud: 19° a 21° Norte.

²⁴ <https://iridl.ldeo.columbia.edu/>

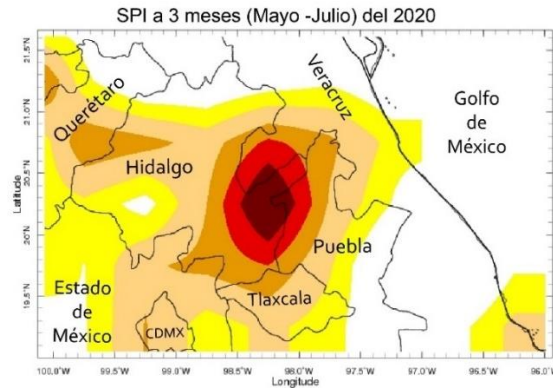


Figura 4.2 Cuadrícula (Grid) de referencia en grados para obtener los valores del SPI.

Fuente: Modificado del portal IRI (2020).

Los registros del SPI que se obtuvieron fueron los siguientes:

Para una escala a 3 meses, se tomaron en cuenta los registros de junio – agosto, que es considerado como un periodo estacional de lluvias (lluvias en verano) para la región de estudio.

Con los datos obtenidos se graficaron los valores con agrupación trimestral con la finalidad de observar el comportamiento de precipitación durante las temporadas de verano, el resultado es un indicador de humedad en el suelo, así como una estimación estacional de la precipitación para comenzar a caracterizar la sequía (OMM, 2012).

En la Figura 4.3 se muestra el comportamiento del SPI trimestral para los meses de junio – agosto de los años de 1980 a 2020, que por lo general son lluvias producidas por temporada normal de eventos meteorológicos.

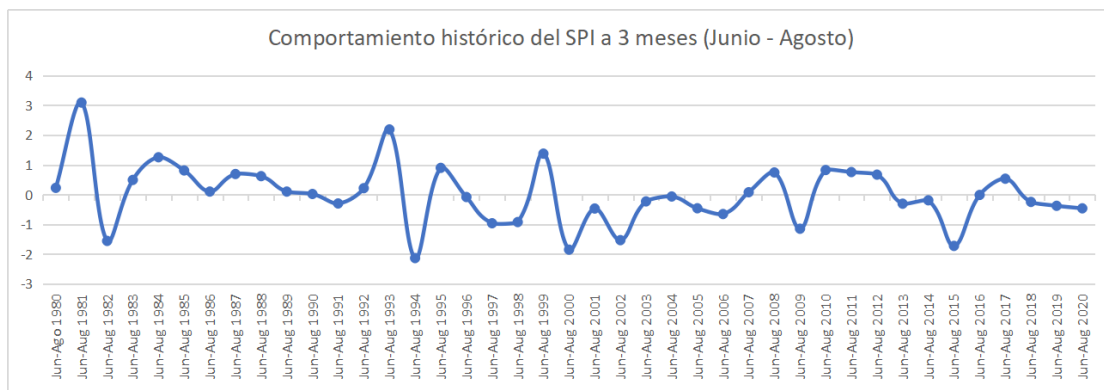


Figura 4.3 Valores promedio del SPI a 3 Meses con lluvias estacional.

Fuente: Elaboración propia con datos disponibles del portal IRI.

La Tabla 4.2 presenta la clasificación de la sequía de acuerdo con la propuesta por McKee (1993) y homologada a la clasificación del monitor de sequía en México (Tabla 4.3).

Tabla 4.2. Clasificación de la sequía en escala trimestral para los meses de junio – agosto.

| Categoría de sequía | |
|---------------------|----------------|
| Año | Tipo de sequía |
| 1982 | D1 |
| 1991 | D0 |
| 1994 | D3 |
| 1996 | D0 |
| 1997 | D0 |
| 1998 | D0 |
| 2000 | D2 |
| 2001 | D0 |
| 2002 | D1 |
| 2003 a 2006 | D0 |
| 2009 | D1 |
| 2013 | D0 |
| 2014 | D0 |
| 2015 | D1 |
| 2016 | D0 |
| 2018 | D0 |
| 2019 | D0 |
| 2020 | D0 |

Tabla 4.3. Clasificación de la sequía propuesta por el Monitor de Sequía en México.

| CLASIFICACION DE LA SEQUÍA DE ACUERDO AL MONITOR DE SEQUÍA | |
|--|----|
| Anormalmente Seco | D0 |
| Sequía Moderada | D1 |
| Sequía Severa | D2 |
| Sequía Extrema | D3 |
| Sequía Excepcional | D4 |

En la escala trimestral correspondiente a los meses de junio – agosto, se contabiliza un total de 18 sequías, de las cuales 12 corresponden a categorías de sequías anormalmente secas, de acuerdo con la descripción que otorga el monitor de sequía en México, se trata de una condición de sequedad, es decir están presentes al inicio o final de una sequía.

Debido a esta condición, en un periodo de corto plazo se va reflejando la falta de humedad en los suelos, por lo que esto puede manifestarse en el déficit de agua, retraso en los cultivos de temporal, así como un limitado crecimiento de éstos.

Se registraron cuatro sequías de categoría moderada, las cuales debido a su magnitud pudieran ocasionar pérdidas en los cultivos y escasez de agua, esto como a consecuencia de la ausencia de humedad en los suelos. Así mismo se registraron dos eventos de sequía (D2 y D3) que se pudieran considerar como eventos asilados, debido a que su aparición es aleatoria en los registros y no es consecutiva a las

categorías que le preceden. Debido a la escala trimestral, no se pueden considerar eventos que pudieran tener impactos significativos a largo plazo, ya que esta escala por su duración tiende a ser muy variable.

Para una escala de 6 meses, en la Figura 4.4 se presentan los datos obtenidos de dos periodos Enero a Junio y Julio a Diciembre. En tanto que las sequías identificadas se registran en la Tabla 4.4, la cual muestra un total de 19 sequías ocurridas entre los años de 1980 al primer semestre del año 2020.

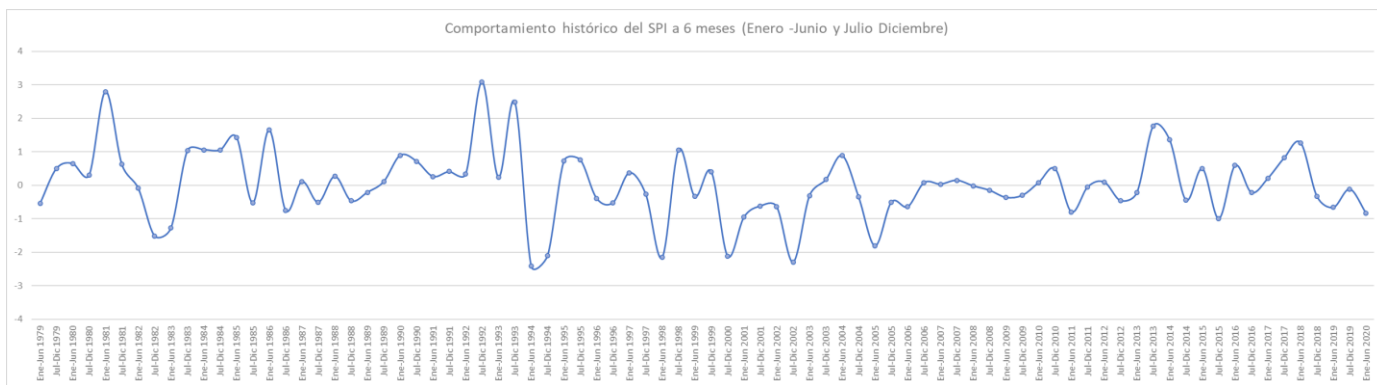


Figura 4.4. Valores promedio del SPI a 6 Meses.

Fuente: Elaboración propia con datos disponibles del portal IRI.

Tabla 4.4. Clasificación de la sequía en escala semestral para los meses de enero – junio y julio – agosto.

Fuente: Elaboración propia con datos del portal IRI

| Categoría de sequía | |
|---------------------|----------------|
| Año | Tipo de sequía |
| Ene 1982- Ene 1983 | D2 |
| Jul-Dic 1985 | D0 |
| Jul-Dic 1986 | D0 |
| Jul-Dic 1987 | D0 |
| Jul 1988 - Jun 1989 | D0 |
| Ene 1994 - Dic 1994 | D3 |
| Ene 1996 - Dic 1996 | D0 |
| Jul 1997 - Jun 1998 | D3 |
| Ene 1999 - Jun 1999 | D0 |
| Jul 2000 - Jun 2003 | D3 |
| Jul 2004 - Jun 2006 | D1 |
| Ene 2008 - Dic 2008 | D0 |
| Ene 2009 - Dic 2009 | D0 |
| Ene 2011 - Dic 2011 | D0 |
| Jul 2012 - Jun 2013 | D0 |
| Jul - Dic 2014 | D0 |
| Jul - Dic 2015 | D0 |
| Jul - Dic 2016 | D0 |
| Jul 2018 - jun 2020 | D0 |

De las 19 sequías identificadas, se puede apreciar que predominan las sequías del tipo anormal (D0), que de acuerdo con la clasificación del Monitor de Sequía en México; esta categoría se puede dividir en dos escalas de tiempo para separar las condiciones de precipitación que son estacionales en contraste con las que acontecen de forma ocasional. En este sentido; en las sequías ocurridas en los semestres de julio a diciembre, la probabilidad de precipitación disminuye, esto como consecuencia del tipo de régimen climático que presenta la zona de estudio y que se pudiera considerar que las lluvias son originadas por frentes fríos, como se ha mencionado anteriormente. La siguiente escala, son sequías que han se han presentado en un lapso de más de dos semestres, en las cuales están implícitas las lluvias estacionales, mismas que sirven para evaluar los niveles de precipitación y rendimiento de cultivos; sin bien es una escala baja, estas sequías se han registrado con mayor frecuencia en 1996, 1999, 2008, 2009 y 2011.

Las sequías de categoría D1 como la de los años 2004 a 2006, a esta escala de SPI a 6 meses, da indicios de los impactos a nivel agricultura e hidrología, los cuales van desde daños a los cultivos temporales y bajos niveles en ríos y abrevaderos.

Se registraron tres sequías severas (D3) en los años de 1994, en el periodo de julio de 1997 a junio de 1998 y de julio del 2000 a junio del 2003; si bien estas condiciones de sequía no son muy recurrentes, son bastantes prolongadas en relación con los años de duración, lo que pudiera ocasionar pérdidas de cosechas, impactos

económicos relacionados productos alimenticios y hambrunas, nula o baja disponibilidad de agua en ríos, embalses, etc.

La Figura 4.5, corresponde al comportamiento histórico del SPI a una escala temporal de 12 meses, se muestran registros de sequías que han ocurrido cada año y cuya magnitud es más fuerte que las escalas anteriores; en este sentido, se encontraron cinco periodos de sequía de severidad considerables caracterizados de la siguiente forma (Tabla 4.5), una sequía extrema para el año 1981; dos sequías severas, la primera comienza en 1991, finalizando en 1993 y la segunda en los años de 1995 a 1997. Finalmente, se observa que desde el 2017 al 2019 persiste una sequía anormal con tendencia a ser moderada.

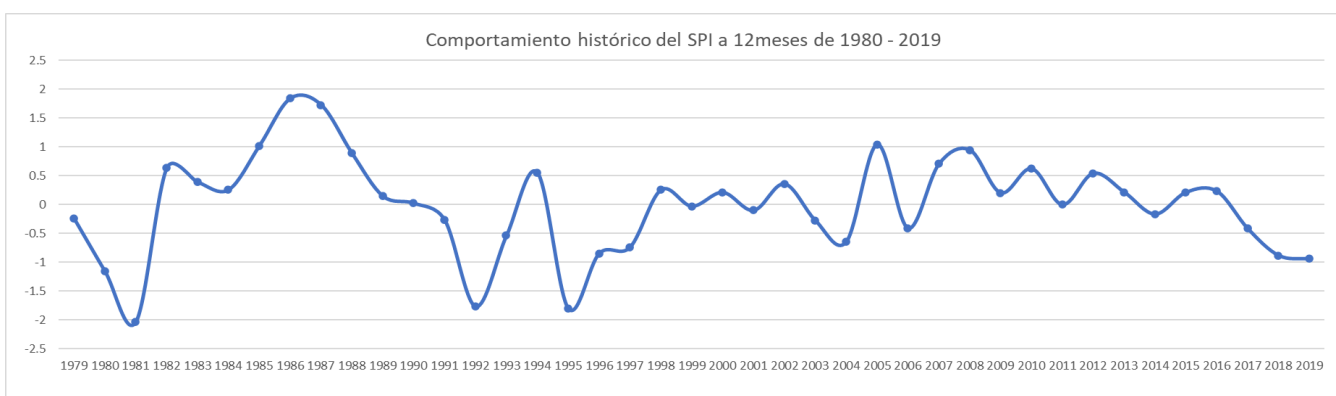


Figura 4.5. Valores promedio del SPI a 12 Meses.

Fuente: Elaboración propia con datos disponibles del portal IRI.

Tabla 4.5. Clasificación de la sequía en escala anual de los años 1980 – 2019

| Categoría de sequía | |
|---------------------|----------------|
| Año | Tipo de sequía |
| 1980 | D1 |
| 1981 | D3 |
| 1991 - 1993 | D2 |
| 1995-1997 | D2 |
| 2017 - 2019 | D0 |

En conclusión, respecto a los valores obtenidos, con los registros realizados a las tres escalas de tiempo (3, 6 y 12 meses) del SPI, se puede ver que la escala de 6 meses permitiría evaluar efectos en la agricultura, acuíferos y posibles impactos en los ecosistemas, esto debido a que se pueden registrar periodos de ocurrencia de la sequía semestral o inclusive anual sin que se presenten variaciones como se observa en los registros de SPI a 3 meses.

Las sequías registradas en los años de 1982–1983, 1994, 1997–1998, 2000-2003 y finalmente, la que se presentó en el 2019 y que va persistiendo hasta la fecha en escala temporal del SPI a 6 meses, son producto del fenómeno conocido como “EL NIÑO”; sin embargo, los efectos de este fenómeno varían de una región a otra, ya que puede haber mayores precipitaciones o menores. En ausencia de precipitaciones llega a haber ocurrencia de sequía, que finalmente tiene impactos sociales, económicos y ambientales; por lo que, en este sentido, El NIÑO es considerado como amenaza.

Para el año 2019, el SMN advertía con un 55% de probabilidad de que se presentara el fenómeno de El NIÑO más allá de la primavera. Sin embargo, al ver las tendencias del SPI a 6 y 12 meses las condiciones de sequía siguen siendo recurrentes, por lo que se recomienda seguir revisando los valores del SPI que va emitiendo el Monitor de Sequía en México y contrastarlos con los valores emitidos por otras fuentes, así como estar al pendiente del estatus de El NIÑO que emite el SMN.

4.3 Método de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)

4.3.1 Definiendo el AHP

El Proceso de Análisis Jerárquico es una herramienta multicriterio desarrollado por Thomas Saaty (1980) el cual permite hacer frente a la toma de decisiones complejas a partir de las decisiones multicriterio de forma sistemática, por medio de comparaciones entre elementos (variables o indicadores). Está diseñado para relacionar tanto lo racional o lo intuitivo, ya que a través de comparaciones proporciona un medio que mejora la coherencia entre los elementos que permiten el desarrollo de prioridades (Saaty & Vargas, 2001).

El método del AHP se basa en el principio de descomposición, el cual indica que, para resolver la complejidad de un problema, éste se puede estructurar en subproblemas jerárquicos que estén interrelacionados, de acuerdo con el nivel de descomposición en el que se encuentren (Osorio y Orejuela, 2008)

Como primer paso del AHP está la construcción de la jerarquía, que es el proceso más creativo al momento de la toma de decisiones, ya que se debe considerar qué factores se van a incluir en la estructura jerárquica. En la construcción de esta jerarquía se seleccionan los elementos suficientes que permitan detallar la complejidad del problema de una forma completa sin caer en lo minucioso, para no perderse en el detalle (Saaty & Vargas, 2001).

La Figura 4.7 es un ejemplo de la estructura jerárquica del problema, construida por elementos organizados de forma subordinada, en este caso, el problema que estamos abordando será nuestro objetivo, situado en la cúspide del esquema y, los elementos que son considerados como variables estarán en el escalón inferior de la

estructura (criterios), estos pueden subdividirse en más variables que estén subordinadas a la primera. Los niveles del modelo jerárquico deben de ser coherentes en función de la problemática que se trata de resolver.

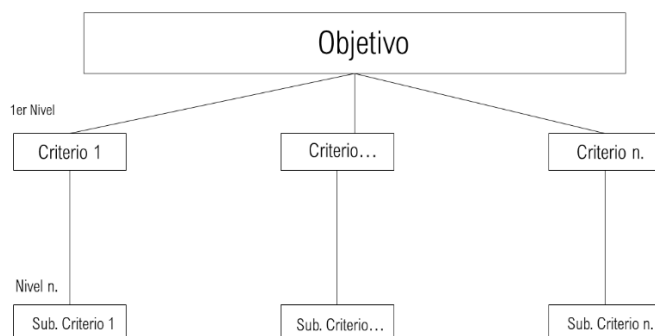


Figura 4.7. Elaboración de la estructura jerárquica

Fuente: Elaboración propia con base en Saaty y Vargas, 2001.

Es preciso señalar que, los criterios con los que se va a elaborar la estructura jerárquica son los elementos que van a tener peso e importancia en las decisiones, pueden ser cuantitativos o cualitativos.

La Figura 4.8 muestra el modelo jerárquico aplicado para la identificación de la vulnerabilidad; en este modelo se tiene como principal objetivo examinar los geosistemas vulnerables ante la sequía meteorológica. En un primer nivel están los dos criterios principales (ambiental y socioeconómico) que determinan la problemática y que son clave para alcanzar el objetivo en este modelo. El segundo nivel corresponde a los criterios que integran el primer nivel; el criterio ambiental, en su segundo nivel, se compone de dos factores denominados bióticos y abióticos, mientras que el criterio socioeconómico está compuesto de cuatro elementos denominados población, vivienda con infraestructura, infraestructura urbana y actividades económicas.

En el tercer nivel están los criterios de cada elemento perteneciente al segundo nivel; así, el componente abiótico está integrado por cinco criterios denominados: precipitación, tipo de suelos, geología, pendiente del terreno y el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI por sus siglas en inglés).

El componente población tiene como criterio de tercer nivel el grado de marginación; así mismo, la vivienda con infraestructura cuenta con los criterios de tercer nivel denominados vivienda con cisternas o tinacos y vivienda con agua entubada; la infraestructura urbana tiene como criterio de tercer nivel a los pozos de

aprovechamiento de agua subterránea; y las actividades económicas tienen como tercer elemento los pozos de riego.

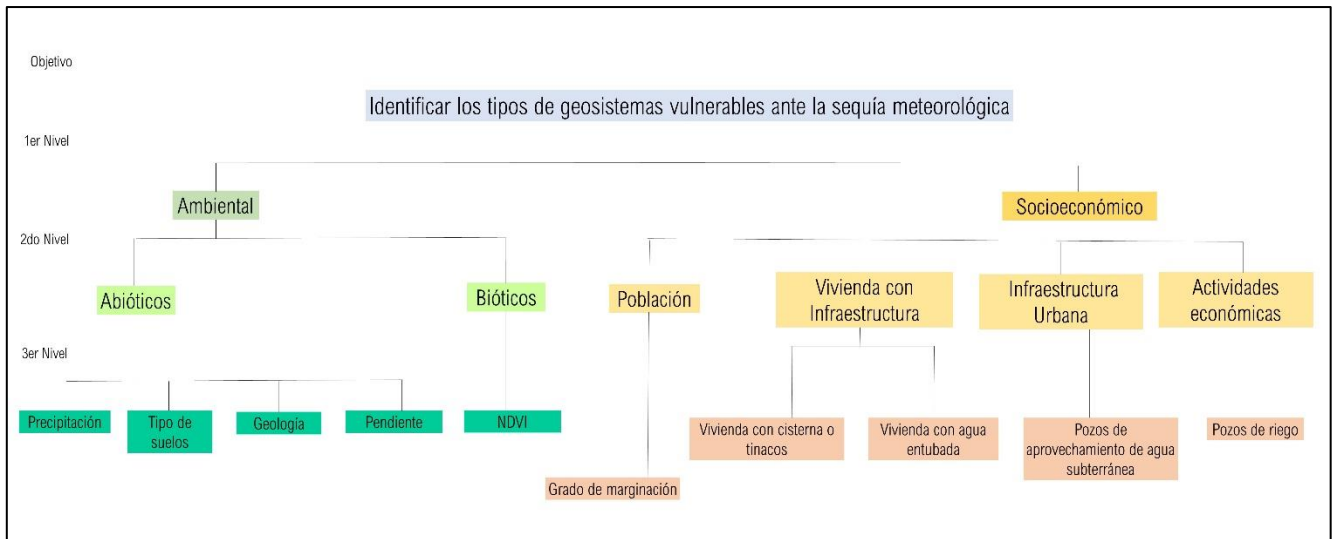


Figura 4.8. Elaboración de la estructura jerárquica aplicada a la identificación de la vulnerabilidad de los geosistemas.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Descripción de las variables empleadas en el modelo del AHP

Las variables empleadas permiten estimar el grado de vulnerabilidad intrínseca, la cual se refiere a una condición inherente de cada geosistema, dado por las propiedades físicas, biológicas y socioeconómicas. Estas variables fueron propuestas tomando en consideración el tipo de amenaza, por lo que es conveniente que al momento de su elección sean discutidas en talleres previos con personal relacionado al tema (grupo de expertos).

Ambiental

La vulnerabilidad intrínseca del primer nivel (ambiental) se compone de dos variables denominadas abióticas y bióticas (segundo nivel), para su análisis es preciso que estas variables sean lo más independientes entre sí para evitar que se produzca el mismo resultado.

Dentro del componente abiótico se incluyen los elementos propios que conforman el sistema (cuenca), mismos que están relacionados con el funcionamiento, génesis y resultado de estos elementos con el sistema.

Variables del componente abiótico:

Precipitación: Dado que la sequía meteorológica se caracteriza por una disminución en la precipitación por debajo de una cantidad determinada en algún periodo (día, mes, año), se optó por utilizar información vectorial que pudiera ser manejada en un SIG, el cual incluyera la cantidad de precipitación anual para una determinada fecha. Para este trabajo se utilizó una capa vectorial que contiene información de la precipitación anual de las fechas 1961 a 2008, con la finalidad de identificar áreas que contienen una baja precipitación y que son consideradas como vulnerables. Esta información se extrajo de la base de datos de Climate Computing (CLICOM) en el portal del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE).

Para identificar la vulnerabilidad intrínseca dentro de los geosistemas, se optó por realizar el cruce de las capas vectoriales de precipitación y de geosistemas. Se utilizó el software ArcMap v.10.2, con el comando *<Identity>* se generó una nueva capa vectorial y se identificaron los polígonos con precipitación mínima (250 mm).

La misma operación se realizó para las siguientes variables del componente ambiental.

Tipo de suelos: El tipo de suelos y la influencia que tiene la precipitación sobre estos, afecta en los parámetros edáficos en función de la humedad y la infiltración; esto debido a su composición. Los suelos de textura media a fina (clase textural 2 y 1), tienen una buena capacidad de filtración. Los suelos de textura gruesa (clase textural 3) son suelos con poca capacidad de filtración debido al mal drenaje, la escasa porosidad y, por lo general, son duros al secarse.

Geología: Teniendo en cuenta que la formación de la cuenca es de origen volcánico, la capacidad de infiltración de las aguas de lluvia estará en función de las características intrínsecas de los materiales volcánicos, en este sentido, la porosidad de las rocas del tipo basáltico-andesítico, tobas riolíticas, e ignimbritas, etc. suelen tener una porosidad baja o nula, por lo que la infiltración del agua a través de este tipo de materiales es escasa; sin embargo, la infiltración pluvial se da a través de fracturas del mismo material.

Pendiente: La pendiente del terreno es una variable fundamental que interviene en la sensibilidad ambiental; está relacionada con la morfología, está ampliamente ligada a procesos de erosión, escorrentía de agua superficial, la cual depende de la infiltración proporcionada por los tipos de suelos. Cuanto más pronunciada esté la pendiente y haya poca filtración hacia el subsuelo más rápida será la escorrentía.

En este contexto, los terrenos con pendientes mayores a dieciocho grados serán considerados como los más vulnerables, esto debido a los procesos de escorrentía que son mayores y por lo tanto será poco el aprovechamiento para los suelos, las comunidades vegetales y la sociedad.

Variable del componente biótico

Índice Normalizado de Vegetación (NDVI): El empleo de imágenes de satélite han revolucionado numerosos campos dentro de la teledetección en la forma en que percibimos y comprendemos nuestro entorno. Entre los diversos usos que se les dan a las imágenes satelitales desatacan las denominadas transformaciones de imagen, estas son operaciones destinadas a crear nuevas bandas “artificiales” a partir de las ya existentes proporcionadas por los sensores remotos de los diversos satélites. Estas transformaciones permiten la creación de nuevas representaciones del terreno o de la atmosfera, ampliando significativamente las posibilidades de análisis, que van desde la meteorología hasta la gestión de recursos naturales. Dentro de estas operaciones como lo son las sumas ponderadas, las multiplicaciones, los cocientes, etc. se pueden resaltar ciertos elementos como lo son cuerpos de agua, áreas urbanizadas, vegetación densa; calcular índices que proporcionen información sobre aspectos como la salud de la vegetación, por mencionar algunas (Chuvieco, 1995).

El empleo de los cocientes entre bandas satelitales implica dividir los píxeles de cada banda satelital entre los número digitales (ND) almacenados en dos o más bandas de la misma imagen; con esta operación se pueden discriminar masas vegetales tomando como base el comportamiento radiométrico de estas masas. Con base a este principio se pueden calcular los denominados índices de vegetación; lo cuales combinan la banda roja (*R*) y el infrarrojo cercano (*IRC*) del espectro (Chuvieco, 1995).

El índice de vegetación normalizada (NDVI) son usados como indicadores cuantitativos del ecosistema que involucra el verdor de las plantas, tierra desnuda y la presencia de cuerpos de agua; el resultado obtenido representa un indicador en la salud vegetal (Meneses, 2011).

Los valores del NDVI varían de 1 a -1, donde los valores negativos corresponden a áreas con superficies de agua, estructuras artificiales, rocas; el suelo desnudo generalmente cae dentro del rango de 0.1 a 0.2. La vegetación siempre tendrá valores positivos entre 0.2 y 1. Sin embargo, esto es solo una regla general y siempre se debe tener en cuenta la temporada, el tipo de planta y las peculiaridades regionales para saber exactamente qué significan los valores de NDVI. Para regiones semiáridas, existe una relación entre la precipitación y el NDVI, dado que la demanda de agua es utilizada como uno de los principales controles ambientales para determinar la salud de la cubierta vegetal (De la casa y Ovando, 2011).

El NDVI calculado en este trabajo se obtuvieron a partir de las imágenes proporcionadas por el satélite Landsat 8 a partir de las bandas 4 (*R*) y 5 (*IRC*) por medio de la siguiente fórmula (United States Geological Survey, 2020):

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R}$$

Donde:

IRC = Banda 5

R = Banda 4

Es necesario señalar que los avances en la teledetección realizados en las últimas décadas lo que ha permitido desarrollar nuevos métodos para monitorear y dar seguimiento a los fenómenos de sequía y otros eventos hidrometeorológicos, generando así nuevas técnicas para calcular índices como lo son: Índice de Vegetación Mejorado (EVI, *Enhanced Vegetation Index*), Índice de Condición de la Vegetación (VCI, *Vegetation Condition Index*) o Índice Normalizado de Sequías (NDDI, *Normalized Difference Drouht Index*), por mencionar algunos; para la obtención del NDDI y el VCI, utilizan como insumo el NDVI lo que pudiera dificultar su cálculo en función de la experiencia en el manejo y tratamientos de los datos satelitales (Paredes *et al.* 2022).

Gaznayee *et al* (2022) señalan que el NDVI es el índice mayormente utilizado para el monitoreo de la sequía obtenidas del satélite Landsat 8; en este aspecto, Luu *et al* (2023) mencionan que el empleo de imágenes satelitales de Landast 8 son los mayormente utilizados para monitorear la sequía debido a que las imágenes se pueden recopilar periódicamente, además de que la precisión y resolución espacial de estos datos de nueva generación han mejorado considerablemente, lo que permite el seguimiento de la sequía a lo largo del tiempo y la evaluación de sus impactos sobre la vegetación y el medio ambiente.

Socioeconómico

Los avances realizados en el monitoreo de las sequías meteorológicas han permitido contar con herramientas de seguimiento exhaustivo en tiempo real y con una elevada resolución espacial. Sin embargo, son pocos los esfuerzos para conocer el componente social que interactúa con este fenómeno (Paneque, 2022).

Utilizar indicadores socioeconómicos disponibles para identificar la vulnerabilidad ante la sequía, es un paso y proceso que funge como vía fundamental para mitigar los problemas sociales ocasionados por los impactos de este fenómeno. A este respecto, las características de la población, el patrimonio de esta misma como lo es la infraestructura para el almacenamiento del agua y la población económicamente activa, pueden considerarse como indicadores que ayuden a identificar la

vulnerabilidad. En este caso, se tomaron en cuenta las siguientes variables que de cierta manera reflejan las condiciones de vulnerabilidad social.

Variables del componente socioeconómico

Índice de marginación: De acuerdo con la CONAPO (2020), este índice es una medida-resumen que permite diferenciar las localidades (unidades territoriales) del país según el impacto global en las poblaciones; esto como resultado de la falta de acceso a la educación, carencia de bienes, tipo de viviendas. Este índice contribuye a mostrar los contrastes territoriales que existen entre las localidades y poder establecer jerarquías y definir un criterio para determinar la vulnerabilidad de la población.

Vivienda con cisterna o tinacos: Concierno a aquellas viviendas que tienen infraestructura que permite el almacenamiento de agua, puede ser por medio de tinacos o cisternas. En este caso se consideran vulnerables aquellas viviendas que carecen de estos bienes. Las poblaciones que cuentan con este tipo de infraestructura pueden o no contar con el servicio de abastecimiento de agua entubada. Sin embargo, esto no significa que no se puedan abastecer por otros medios como lo son el suministro por pipas. Por lo anterior, las comunidades, que no cuentan con este tipo de infraestructura en la vivienda son propensas a ser vulnerables ante una condición de sequía meteorológica.

Vivienda con agua entubada Se refiere al servicio de agua que administra, gestiona y coordina la autoridad municipal o de la localidad, así como los organismos operadores del agua, a través de una red de tuberías o mangueras, las cuales generalmente son subterráneas, aunque en ocasiones las mangueras se observan en las calles. Se considera esta variable como un indicador de vulnerabilidad en viviendas que no cuentan con este servicio ni con algún tipo de infraestructura para el almacenamiento de agua.

Pozos de aprovechamiento de agua subterránea: El agua que es suministrada al interior de la cuenca para el aprovechamiento público y privado proviene de los pozos perforados para extraer las aguas subterráneas; estos pozos de aprovechamiento son un indicador para evaluar la vulnerabilidad en el abastecimiento de agua en las localidades urbanas y semiurbanas de la cuenca.

Pozos de riego: Tomando en consideración que la mayor parte de la cuenca tiene actividad agrícola de temporal y en la parte norte agricultura de riego, los pozos de riego se proponen como un indicador para evaluar el factor económico en la agricultura ante la sequía meteorológica.

4.3.3 Identificación de la vulnerabilidad por geosistema

Para la identificación de la vulnerabilidad a nivel local, se utilizó información temática a escala 1: 50 000, que sirvió como base para generar nueva información utilizando las variables y el método mencionado en el apartado anterior. En tanto que, para la identificación de la vulnerabilidad por tipo de geosistema se optó por reorganizar el esquema jerárquico de los geosistemas de tercer y cuarto orden (Figura 3.22) con la finalidad de optimizar la integración de estos en el proceso de análisis jerárquico.

Por su parte, para la representación cartográfica de la vulnerabilidad intrínseca por tipo de geosistemas, se aplicó el modelo de jerarquías utilizando solo 3 categorías (baja, moderada y alta). Estas categorías de vulnerabilidad se usaron al momento de realizar los cruces de información y considerar aquellas superficies de tipos de geosistemas con mayor porcentaje de cobertura en la capa vectorial con precipitación < a 250 mm anuales; posteriormente se empleó el método de cortes naturales para categorizar los porcentajes en función de la vulnerabilidad (Tablas 4.6 y 4.7).

Tabla 4.6. Categorización de la vulnerabilidad por tipo de geosistema.

| Geosistema | < 250 mm de precipitación | | Vulnerabilidad |
|--------------------------|---------------------------|--------|----------------|
| | (Km2) | % | |
| Industriales. | 0.088 | 0.10 | Baja |
| Urbanos. | 0 | 0.00 | Baja |
| Mixtos. | 6.29 | 7.21 | Baja |
| Agricultura tecnificada | 4.43 | 5.08 | Baja |
| Agricultura de temporal. | 44.26 | 50.72 | Alta |
| Semitransformados. | 2.02 | 2.31 | Baja |
| Vegetación nativa. | 28.51 | 32.67 | Moderada |
| Hidráulicos. | 1.66 | 1.90 | Baja |
| Total | 87.258 | 100.00 | |

Tabla 4.7. Categorías de la vulnerabilidad por tipo de geosistema.

| Categoría de Vulnerabilidad | Porcentaje de la superficie por tipo de geosistema con menor precipitación anual (< 250 mm) |
|-----------------------------|---|
| Baja | < 30 % |
| Moderada | 30-50 % |
| Alta | >50 % |

Las categorías de vulnerabilidad de la Tabla 4.7 sirvieron para realizar la clasificación de las variables mencionadas anteriormente.

La Figura 4.9 muestra el mapa de vulnerabilidad por geosistema en función de la precipitación, se tomó como variable la precipitación menor a 250 mm anuales; con base en esta información se llevaron a cabo los cruces entre la capa de precipitación y la de geosistemas, para calcular el área que ocupan los geosistemas susceptibles a la disminución de la precipitación y así identificar la vulnerabilidad.

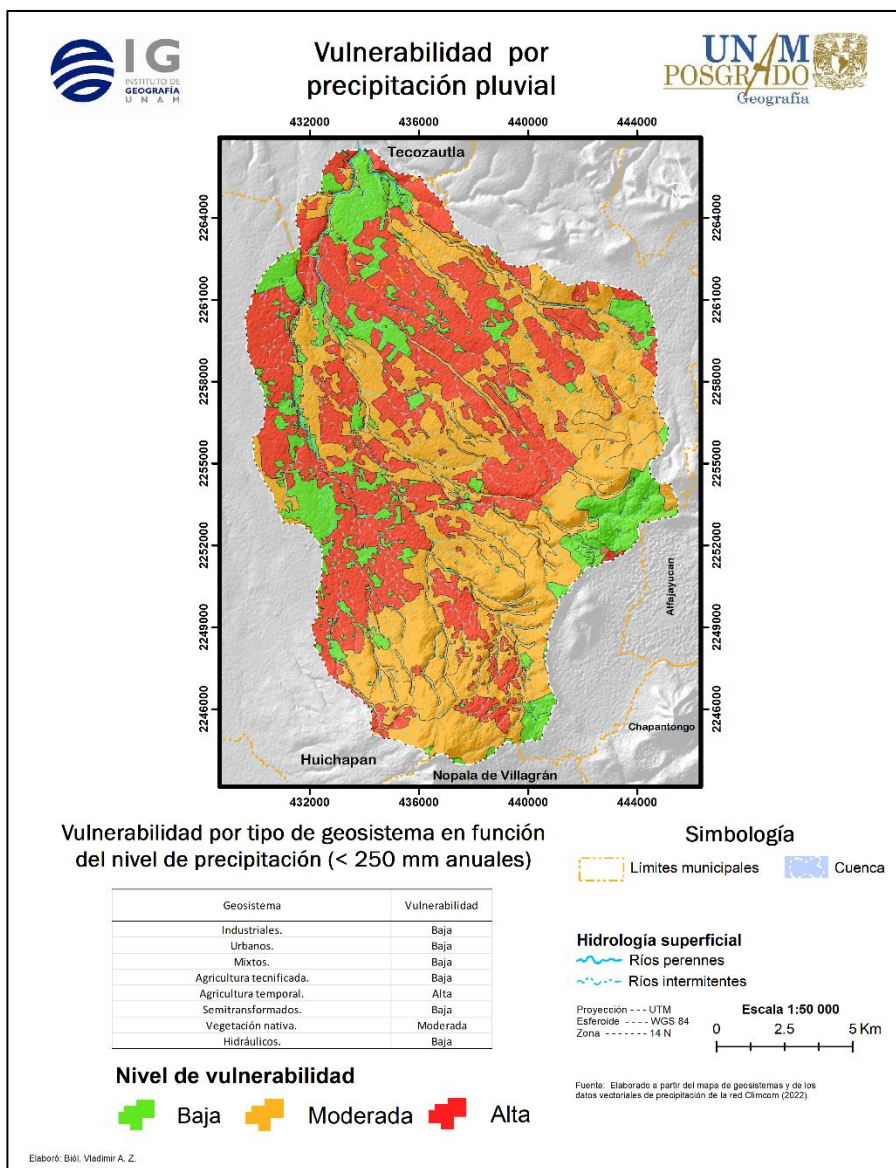


Figura 4.9. Vulnerabilidad intrínseca por precipitación pluvial.

La cuenca tiene una superficie de 87.26 km² con una baja precipitación pluvial (<250 mm anuales), de los cuales, los geosistemas que son altamente vulnerables son aquellos dedicados a la agricultura de temporal con un 50.72 % (44.26 km²). Los geosistemas que son moderadamente vulnerables al déficit de precipitación son las unidades vinculadas a la vegetación nativa; es decir, la vegetación primaria como lo son los bosques de encino, la vegetación riparia, el matorral crasicauale y la vegetación secundaria de estas mismas, con un 32.67 % (28.51 km²). Los geosistemas que cuentan con una baja vulnerabilidad son los industriales, los urbanos, los mixtos, los dedicados a la agricultura tecnificada y los hidráulicos.

El mapa de vulnerabilidad por tipo de geosistema en función del déficit por infiltración de agua pluvial, que corresponde a la variable por tipo de suelos (Figura 4.10), muestra aquellos geosistemas que por clase textural tiene poca capacidad de infiltración y ello contribuye a la evaporación, impidiendo así el aprovechamiento de agua superficial y subterránea.

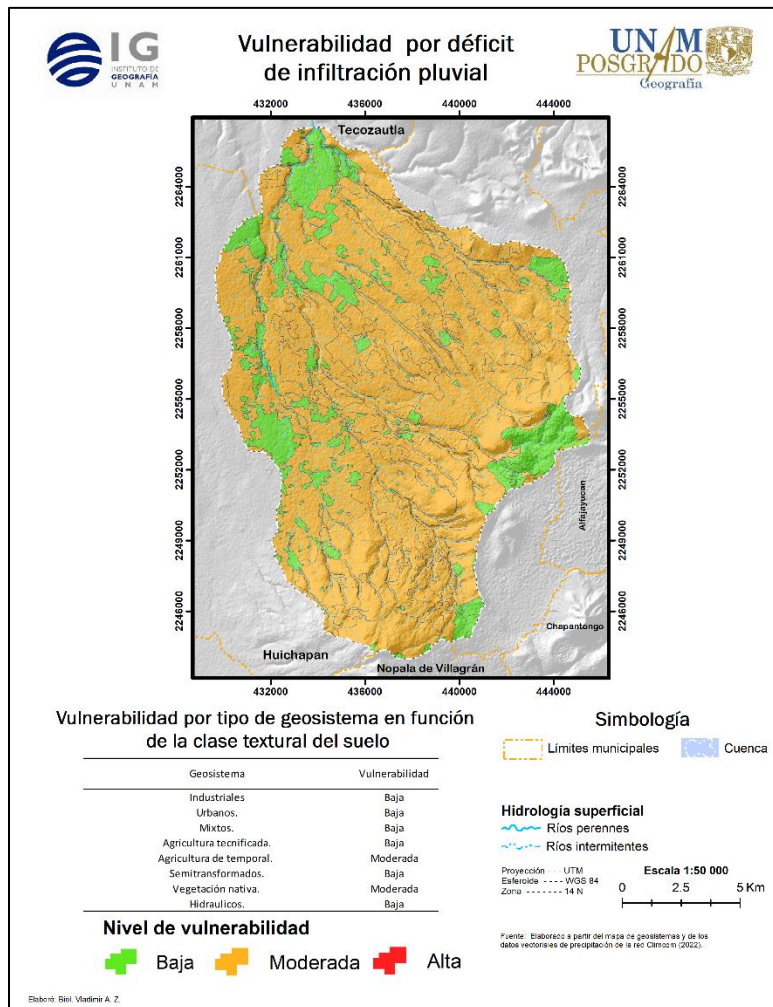


Figura 4.10. Mapa de vulnerabilidad intrínseca por déficit de infiltración.

La vulnerabilidad por tipo de geosistema en función del déficit por filtración muestra que los geosistemas con vulnerabilidad media son los de agricultura de temporal la cual representa un 38 % de superficie de suelo con este tipo de textura y la de vegetación nativa 44 %; las cuales presentan suelos con un tipo de textura fina lo que ocasiona que los cultivos y la vegetación tengan poco aprovechamiento del agua que se infiltra por la precipitación.

El mapa de vulnerabilidad intrínseca por permeabilidad (Figura 4.11) considera la permeabilidad de las rocas; en este sentido los tipos de geosistemas que están ubicados sobre rocas impermeables son considerados vulnerables debido a que no permite que el agua proveniente de la precipitación se aproveche por estas unidades y no se filtre hacia el acuífero, lo cual limita la recarga natural de este.

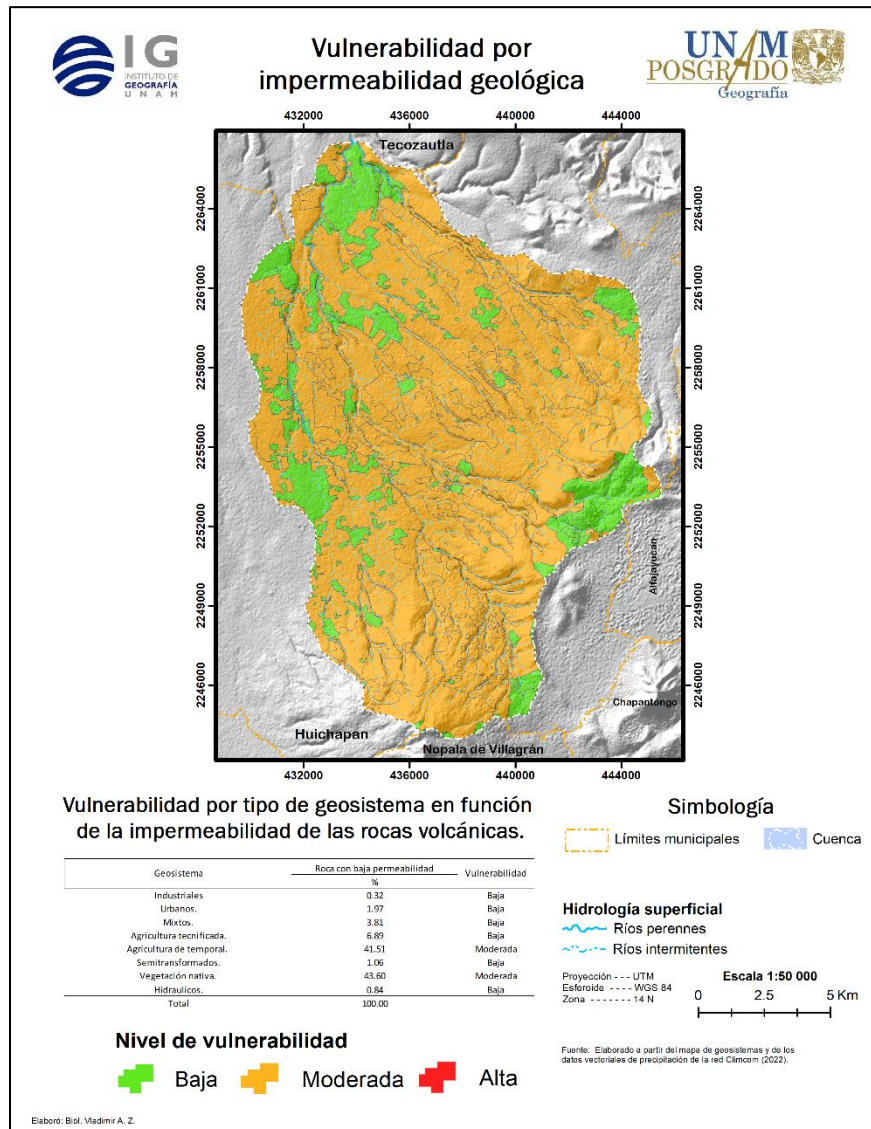


Figura 4.11. Mapa de vulnerabilidad intrínseca por permeabilidad geológica.

El mapa de vulnerabilidad por geosistema en función de la escorrentía (Figura 4.12), aborda la variable de la pendiente que es mayor a dieciocho grados, esto debido a que en épocas de precipitación y por la forma de la cuenca que es oval alargada, favorece las escorrentías, evitando así la infiltración del agua hacia el subsuelo y el aprovechamiento de esta para la sociedad.

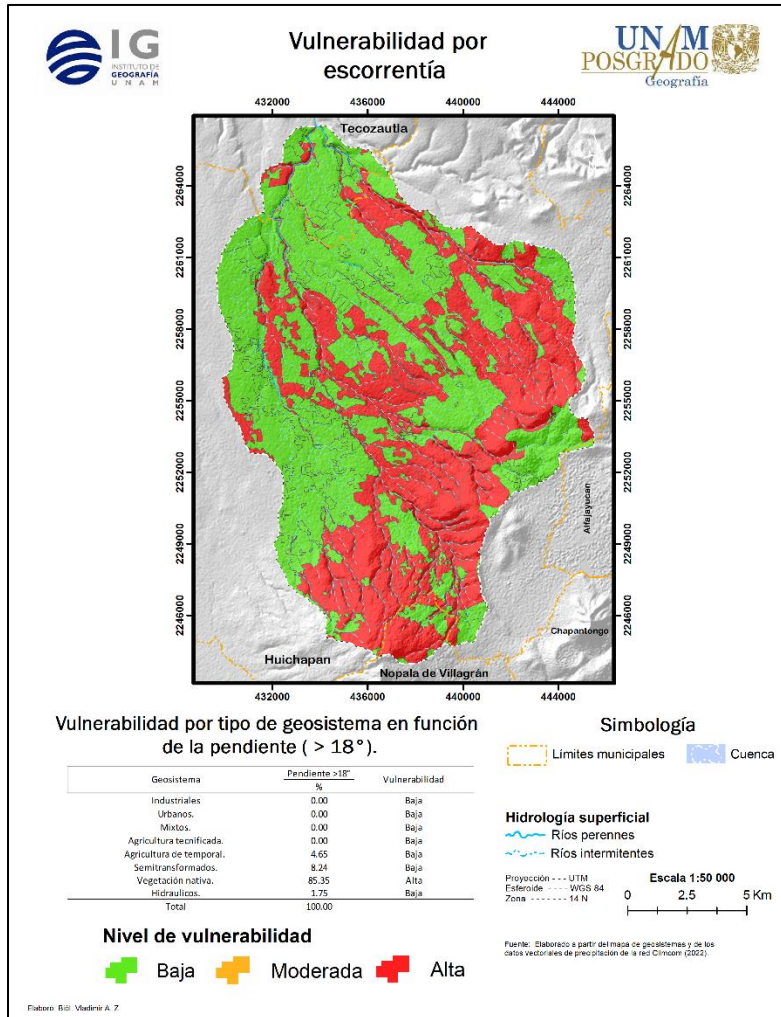


Figura 4.12. Mapa de vulnerabilidad por escorrentía.

El mapa de vulnerabilidad por geosistema en función de la escorrentía muestra que los geosistemas más vulnerables son la vegetación primaria y secundaria, aquí se incluye también la vegetación riparia en los valles erosivos. La vegetación que está ubicada sobre este tipo de pendientes es vulnerable debido a que, en periodos de precipitación, el agua no se infiltra, escurriéndose aguas abajo hacia el norte, evitando así la filtración y poniendo en riesgo las condiciones normales de la vegetación.

El mapa de vulnerabilidad por geosistema en función del NDVI (Figura 4.13), toma en consideración la vegetación sana y densa que existe en la cuenca, por lo que en las zonas urbanas e industriales no aplica.

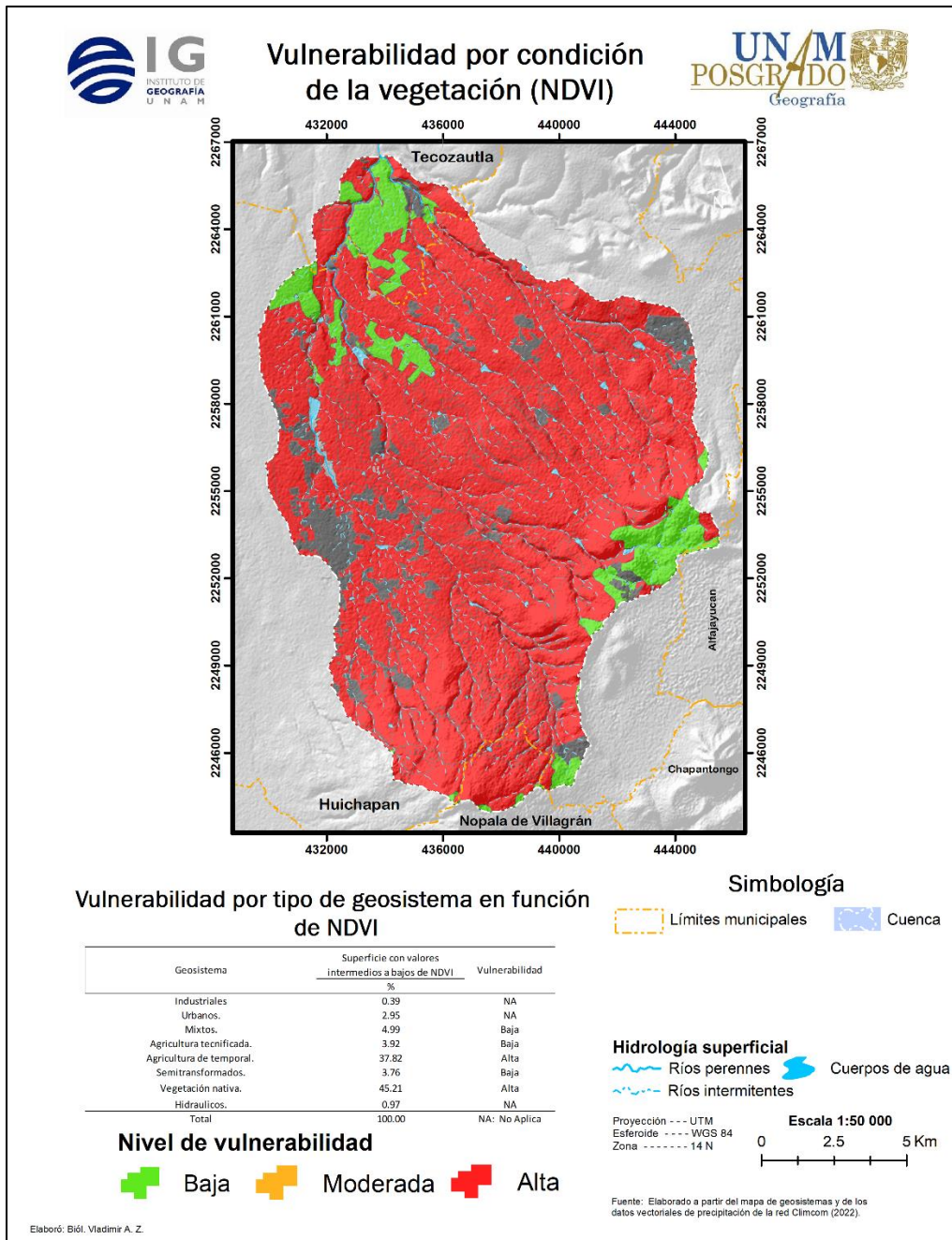


Figura 4.13. Mapa de vulnerabilidad por NDVI.

Las unidades de análisis como lo son la agricultura de temporal y la vegetación primaria y secundaria tienen una vulnerabilidad moderada en comparación con la agricultura de riego en la que se utilizan sistemas tecnificados para el rendimiento de los cultivos, además de que cuentan con pozos de abastecimiento de agua. Esto muestra que, tanto los tipos de geosistemas de agricultura de temporal como la vegetación nativa, presentan estrés hídrico.

4.3.4 Cálculo e integración de las variables ambientales al modelo AHP

Fernández y Casado. (2020) mencionan que, para identificar la vulnerabilidad de una unidad de análisis, como es el caso de los geosistemas, ante una amenaza, tomando en consideración las variables ya mencionadas, se requiere el uso de un método que permita la integración y la síntesis de la información. Por ello, el AHP, facilita integrar estas variables de forma sistemática, utilizando comparaciones pareadas entre unidades de análisis (Fernández y Casado, 2020).

Una vez estimada la vulnerabilidad por tipo de geosistema de cada variable perteneciente al sistema ambiental, con el modelo AHP se aborda el problema de decisión multicriterio de forma sistemática a partir, como ya se señaló, de comparaciones pareadas entre elementos (geosistemas). Se realizan por medio de la elaboración de matrices y cálculos; de acuerdo con las prioridades de los elementos de un nivel y el superior los cuales están referidos en el árbol jerárquico (Figura 4.8) (Fernández y Casado. 2020).

Una vez construida la matriz de comparación pareada (Tabla 4.8) se otorgaron pesos mediante una escala de evaluación numérica referida por Fernández *et al.* (2020), la cual comprende un puntaje del 1 al 9, dando preferencia a la utilización de los números nones, dónde 1 indica que dos elementos son similares, 3 existe una diferencia entre ellos y así consecutivamente hasta el número 9; los números pares (2, 4, 6 y 8) se pueden utilizar para hacer valoraciones intermedias (Tabla 4.9).

La construcción de la matriz de la variable de precipitación se realizó poniendo en los renglones y las columnas los geosistemas a ponderar. Los números utilizados en la escala numérica se acomodaron en la matriz de tal forma que, el valor 1 se refiere a que dos elementos son de igual importancia como es el caso de los geosistemas industriales (renglón 1), los cuales fueron comparados entre sí al momento de ponderarse con la variable de precipitación (C1); esto significa que tiene un valor similar y por lo tanto todos los geosistemas que se comparen entre si tendrán valor 1, por lo que su distribución en la matriz será de forma diagonal. Sin embargo, al compararse este mismo criterio del renglón con el de la columna 5 tal es el caso del geosistema de agricultura de temporal (C5), obtenemos un valor de fracción indicando que la columna C5 tiene mayor peso respecto al geosistema industrial. Finalmente se coloca el número entero recíproco en el renglón correspondiente al geosistema comparado. De esta forma, la lógica de comparación pareada sería de la siguiente: Por el déficit de precipitación (< 250 mm anuales) el geosistema de agricultura de temporal (C5) es entre moderada y fuertemente más vulnerable que el geosistema industrial, como se muestra en la Tabla 4.9.

Tabla 4.8. Matriz de comparación pareada para la variable de precipitación.

Fuente: Elaboración propia.

| Superficie de terreno con menor precipitación anual (<250 mm) por tipo de geosistema | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 |
|--|--------------------------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|
| 1 | Industriales | 1 | 1 | 1/3 | 1 | 1/6 | 1 | 1/3 | 1 |
| 2 | Urbanos. | 1 | 1 | 1/3 | 1 | 1/6 | 1 | 1/3 | 1 |
| 3 | Mixtos. | 3 | 3 | 1 | 1 | 1/3 | 1 | 1/2 | 1 |
| 4 | Agricultura tecnificada. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1/5 | 1 | 1/2 | 1 |
| 5 | Agricultura de temporal. | 6 | 6 | 3 | 5 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| 6 | Semitransformados. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | Vegetación nativa. | 3 | 3 | 2 | 2 | 1/3 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | Hidráulicos. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Total | | 17.00 | 17.00 | 9.67 | 13.00 | 4.20 | 8.00 | 7.67 | 8.00 |

Tabla 4.9. Escala de valoración numérica propuesta por Saaty (1980).

Fuente: T. Saaty (1980).

| Intensidad de Importancia | | Definición | Explicación |
|---------------------------|--------------|-------------------------------------|--|
| Escala numérica | Reciprocidad | | |
| 1 | 1/1 | Igual importancia | Dos actividades contribuyen de igual manera al objetivo. |
| 3 | 1/3 | Importancia moderada | La experiencia y el juicio favorecen ligeramente una actividad sobre otra. |
| 5 | 1/5 | Importancia fuerte | La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra. |
| 7 | 1/7 | Importancia muy fuerte o demostrada | La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad. |
| 9 | 1/9 | Extrema importancia | La evidencia que favorece una actividad sobre otra es el orden más alto de afirmación. |

Así pues, si el geosistema del renglón es más vulnerable que el de la columna, se pondrá el valor entero correspondiente a la escala de valoración numérica; si el geosistema de la columna es más vulnerable que el del renglón se utilizan fracciones.

Posteriormente se sumaron los valores por cada columna de geosistemas obteniendo de esta forma que el total de la columna C1 (geosistema industrial) tiene un total de 17.0, el total de la columna C2 (geosistemas urbanos) obtuvo un total 17.0; así consecutivamente.

Para la elaboración de la segunda matriz denominada matriz normalizada (Tabla 4.10), se dividió el valor de cada celda que conforma la primera columna entre el valor de la suma total de esta, este mismo procedimiento se realizó para las demás columnas. Con esta segunda matriz, se calculó el promedio por renglón, cuyo resultado equivale a la importancia relativa (peso) de cada elemento (geosistema). La suma de los pesos por cada columna debe de ser 1 o cercano.

Tabla 4.10. Matriz normalizada con los pesos por tipo de geosistema para la variable de precipitación.

Fuente: Elaboración propia.

| Matriz normalizada | | | | | | | | Ponderación | |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|---|
| 0.0588 | 0.0588 | 0.0345 | 0.0769 | 0.0397 | 0.1250 | 0.0435 | 0.1250 | 0.07 | 1 |
| 0.0588 | 0.0588 | 0.0345 | 0.0769 | 0.0397 | 0.1250 | 0.0435 | 0.1250 | 0.07 | 2 |
| 0.1765 | 0.1765 | 0.1034 | 0.0769 | 0.0794 | 0.1250 | 0.0652 | 0.1250 | 0.12 | 3 |
| 0.0588 | 0.0588 | 0.1034 | 0.0769 | 0.0476 | 0.1250 | 0.0652 | 0.1250 | 0.08 | 4 |
| 0.3529 | 0.3529 | 0.3103 | 0.3846 | 0.2381 | 0.1250 | 0.3913 | 0.1250 | 0.29 | 5 |
| 0.0588 | 0.0588 | 0.1034 | 0.0769 | 0.2381 | 0.1250 | 0.1304 | 0.1250 | 0.11 | 6 |
| 0.1765 | 0.1765 | 0.2069 | 0.1538 | 0.0794 | 0.1250 | 0.1304 | 0.1250 | 0.15 | 7 |
| 0.0588 | 0.0588 | 0.1034 | 0.0769 | 0.2381 | 0.1250 | 0.1304 | 0.1250 | 0.11 | 8 |
| 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | Total | 1.00 | |

Después de asignar los pesos a cada geosistema, se elaboró una tabla para calcular la relación de consistencia (CR) de la primera matriz (Tabla 4.11), en esta matriz se buscó que el valor de la relación de consistencia sea menor o igual a 0.10. Esta relación de consistencia nos permite evaluar el grado de coherencia de la primera matriz.

Tabla 4.11. Matriz de consistencia para la variable de precipitación.

Fuente: Elaboración propia.

| Matriz de consistencia | |
|---------------------------------------|------|
| $\lambda_{max} = \Sigma(n \cdot W_i)$ | 8.74 |
| $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ | 0.11 |
| $CR = CI / RI$ | 0.08 |

Como primer paso para la estimación de CR, se calcula lambda máxima (λ_{max}) que consiste en multiplicar el total de la columna n_1 por el peso de cada geosistema W_i y sumarlo por el total de la columna n_2 , multiplicado por el peso del siguiente geosistema y así consecutivamente. Ejemplo: $\lambda_{max} = (17.0 \cdot 0.07) + (17.0 \cdot 0.07) + (9.67 \cdot 0.12) \dots \lambda_{max} = 8.74$.

Con el valor de λ_{max} se calculó el índice de consistencia (CI) en donde al valor de λ_{max} se le resta el total de las columnas o renglones y se divide por el total de columnas o renglones menos uno. Ejemplo: $CI = (8.74 - 8) / (8 - 1) > CI = 0.11$.

Finalmente, se calcula el CR; el RI es un valor de referencia propuesto por Saaty (1987) para matrices aleatorias (Tabla 4.12) cuyo valor se obtiene tomando en consideración el número de renglones o columnas.

Tabla 4.12. Valores de índice aleatorio para matrices cuadradas.

Fuente: T. Saaty, 1987.

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <i>N</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| <i>Índice aleatorio de consistencia</i> | 0 | 0 | 0,52 | 0,89 | 1,11 | 1,25 | 1,35 | 1,40 | 1,45 | 1,49 |

El valor que se obtuvo de RI fue de 1.40 ya que la matriz fue de 8 x 8. El cálculo de CR se obtuvo dividiendo 0.11 / 1.40, obteniendo así que el CR es de 0.08 lo cual indica que la matriz es consistente.

Los procedimientos empleados para obtener los pesos de la variable de precipitación fueron los mismos para obtener los pesos de las variables de suelo, geología, pendiente y NDVI (Tabla 4.13).

Tabla 4.13. Pesos de las diferentes variables del componente ambiental por tipo de geosistemas.

Fuente: Elaboración propia.

| Geosistema | Medio abiótico | | | Medio biótico |
|------------|----------------|----------|-----------|---------------|
| | Suelos | Geología | Pendiente | NDVI |
| C1 | 0.08 | 0.08 | 0.06 | 0.06 |
| C2 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.06 |
| C3 | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.06 |
| C4 | 0.09 | 0.08 | 0.10 | 0.06 |
| C5 | 0.25 | 0.24 | 0.10 | 0.26 |
| C6 | 0.14 | 0.09 | 0.08 | 0.09 |
| C7 | 0.16 | 0.25 | 0.36 | 0.32 |
| C8 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.09 |

Una vez obtenidos los pesos por tipo de geosistema del componente ambiental se calcularon los pesos para el tercer nivel tomando en consideración el árbol jerárquico (Figura 4.8). Se realizaron las mismas matrices descritas anteriormente, con la diferencia de que los criterios a comparar son las variables ambientales correspondientes al medio abiótico del tercer nivel (Tabla 4.14).

Tabla 4.14. Matriz de comparación pareada de las variables del componente abiótico.

Fuente: Elaboración propia.

| Subistemas del componente abiotico | | | | |
|------------------------------------|---------------|--------|----------|-----------|
| | Precipitación | Suelos | Geología | Pendiente |
| Precipitación | 1 | 1/2 | 1/2 | 3 |
| Suelos | 2 | 1 | 1/3 | 3 |
| Geología | 2 | 3 | 1 | 4 |
| Pendiente | 1/3 | 1/3 | 1/4 | 1 |
| | 5.33 | 4.83 | 2.08 | 11 |

La matriz normalizada y la ponderación de estas variables se muestran en la Tabla 4.15; la variable con mayor peso es la geología, seguido de los suelos, la pendiente y por último la precipitación. La matriz de consistencia se muestra en la Tabla 4.16.

La suma de las variables correspondientes al tercer nivel debe ser 1 o cercano a este.

Tabla 4.15. Matriz normalizada con los pesos de las variables del componente abiótico.

Fuente: Elaboración propia.

| | Matriz normalizada | | | | Ponderación |
|---------------|--------------------|------|------|------|-------------|
| Precipitación | 0.19 | 0.10 | 0.24 | 0.27 | 0.201 |
| Suelos | 0.38 | 0.21 | 0.16 | 0.27 | 0.254 |
| Geología | 0.38 | 0.62 | 0.48 | 0.36 | 0.460 |
| Pendiente | 0.06 | 0.07 | 0.12 | 0.09 | 0.086 |
| | | | | | 1 |

Tabla 4.16. Matriz de consistencia para las variables del tercer nivel.

Fuente: Elaboración propia.

| Matriz de consistencia | |
|--------------------------------------|------|
| $\lambda_{max} = \Sigma(n * W_i)$ | 4.20 |
| $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ | 0.07 |
| $CR = CI / RI$ | 0.07 |

Para la variable del NDVI del componente biótico, al ser única, automáticamente se le asigna el valor de uno.

Para obtener los pesos del segundo nivel se multiplican los pesos de los geosistemas derivados de las primeras matrices por los pesos de las variables del tercer nivel (Tabla 4.17). Ejemplo: se multiplica el peso por tipo de geosistema de la variable de precipitación que es 0.07 por el peso de la variable de precipitación (0.20); este procedimiento se realiza para cada una de las variables del medio abiótico.

Tabla 4.17. Matriz de para la obtención de pesos del segundo nivel

Fuente: Elaboración propia.

| Variable | Peso (<i>W</i>) | |
|---------------|-------------------|--|
| Precipitación | 0.20 | |

| Geosistema | Precipitación | <i>W</i> |
|--------------|---------------|----------|
| C1 | 0.07 | 0.01 |
| C2 | 0.07 | 0.01 |
| C3 | 0.12 | 0.02 |
| C4 | 0.08 | 0.02 |
| C5 | 0.29 | 0.06 |
| C6 | 0.11 | 0.02 |
| C7 | 0.15 | 0.03 |
| C8 | 0.11 | 0.02 |
| Total | | 0.20 |

La Tabla 4.18 muestra la matriz con la obtención de pesos por tipo de geosistema de las variables correspondientes al tercer nivel del medio abiótico utilizando el método de cálculo anteriormente descrito.

Tabla 4.18. Matriz de pesos por tipo de geosistema de las variables del medio abiótico.

Fuente: Elaboración propia.

| Geosistema | Suelos | <i>W</i> | Geología | <i>W</i> | Pendiente | <i>W</i> |
|--------------|--------|----------|--------------|----------|--------------|----------|
| C1 | 0.08 | 0.02 | 0.08 | 0.04 | 0.06 | 0.01 |
| C2 | 0.08 | 0.02 | 0.08 | 0.04 | 0.08 | 0.01 |
| C3 | 0.09 | 0.02 | 0.08 | 0.04 | 0.09 | 0.01 |
| C4 | 0.09 | 0.02 | 0.08 | 0.04 | 0.10 | 0.01 |
| C5 | 0.25 | 0.06 | 0.24 | 0.11 | 0.10 | 0.01 |
| C6 | 0.14 | 0.03 | 0.09 | 0.04 | 0.08 | 0.01 |
| C7 | 0.16 | 0.04 | 0.25 | 0.11 | 0.36 | 0.03 |
| C8 | 0.11 | 0.03 | 0.11 | 0.05 | 0.12 | 0.01 |
| Total | | 0.25 | Total | 0.46 | Total | 0.086 |

Esta parte se concluye sumando los pesos por tipo de geosistema y el resultado es el peso final que servirá para calcular las variables del segundo nivel. Ejemplo, se suman los pesos (*W*) del geosistema C1: $0.01 + 0.02 + 0.04 + 0.01 = 0.08$. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.19.

Tabla 4.19. Matriz de pesos por tipo de geosistema de las variables del tercer nivel.

Fuente: Elaboración propia.

| Geosistema | W |
|--------------|-------------|
| C1 | 0.08 |
| C2 | 0.08 |
| C3 | 0.09 |
| C4 | 0.08 |
| C5 | 0.24 |
| C6 | 0.11 |
| C7 | 0.21 |
| C8 | 0.11 |
| Total | 1.00 |

Para calcular los pesos por tipo de geosistema del segundo nivel se ponderan los componentes abióticos y bióticos, otorgando un peso de 0.60 para el primero y 0.40 para el segundo biótico. Posteriormente, para calcular los pesos por tipo de geosistema del componente abiótico se multiplica el peso obtenido en el tercer nivel para el geosistema C1 (0.08) por el peso del componente abiótico (0.60) dando como resultado 0.05. De la misma forma se calcula para el componente biótico (Tabla 4.20).

Tabla 4.20. Matriz de pesos por tipo de geosistema de las variables del segundo nivel.

Fuente: Elaboración propia.

| Geosistema | Abióticos (W) | Bióticos (W) |
|------------|---------------|--------------|
| C1 | 0.05 | 0.03 |
| C2 | 0.05 | 0.03 |
| C3 | 0.05 | 0.04 |
| C4 | 0.05 | 0.03 |
| C5 | 0.14 | 0.09 |
| C6 | 0.06 | 0.04 |
| C7 | 0.13 | 0.09 |
| C8 | 0.07 | 0.05 |
| | 0.60 | 0.40 |

Para el cálculo de la vulnerabilidad ambiental de la cuenca el Molino ante el fenómeno de la sequía meteorológica (primer nivel de la estructura jerárquica) se suman los pesos de los componentes abióticos y bióticos por tipo de geosistema. Ejemplo: para calcular la vulnerabilidad de C1 se sumó 0.05 correspondiente al peso del componente abiótico más 0.03 que corresponde al peso del componente biótico, el resultado total de los pesos por tipo de geosistema debe ser igual o cercano a 1 (considerando el redondeo). Los resultado de estas operaciones se muestran en la Tabla 4.21.

Tabla 4.21. Pesos por tipo de geosistema del componente ambiental (primer nivel).

Fuente: Elaboración propia

| Geosistema | W |
|--------------|-------------|
| C1 | 0.08 |
| C2 | 0.08 |
| C3 | 0.09 |
| C4 | 0.08 |
| C5 | 0.24 |
| C6 | 0.11 |
| C7 | 0.21 |
| C8 | 0.11 |
| Total | 1.00 |

Finalmente, para la identificación de la vulnerabilidad ambiental ante el fenómeno de la sequía meteorológica de la cuenca “El Molino”, se establecieron los valores límite para categorizar la vulnerabilidad por medio de puntos de corte y, se transformaron a una clasificación base 100 los pesos por tipo de geosistema (Tabla 4.22), posteriormente, por medio de los cortes naturales, se obtienen los puntos de corte para la categorización de la vulnerabilidad (Tabla 4.23).

Tabla 4.22. Clasificación base 100 por tipo de geosistema.

Fuente: Elaboración propia

| Geosistema | W | Calificación base 100 |
|--------------------------|------|-----------------------|
| Industriales. | 0.08 | 33 |
| Urbanos. | 0.08 | 33 |
| Mixtos. | 0.09 | 38 |
| Agricultura tecnificada. | 0.08 | 33 |
| Agricultura de temporal. | 0.24 | 100 |
| Semitransformados. | 0.11 | 45 |
| Vegetación nativa. | 0.21 | 87 |
| Hidráulicos. | 0.11 | 45 |

Tabla 4.23. Categorías de la vulnerabilidad ambiental por tipo de geosistema.

Fuente: Elaboración propia

| Categoría de Vulnerabilidad con base 100 | |
|--|--------|
| Baja | < 38 |
| Moderada | 38 -45 |
| Alta | > 45 |

Los tipos de geosistemas más vulnerables ante el déficit de precipitación (Figura 4.14) son la agricultura de temporal y la vegetación nativa con una vulnerabilidad alta, los tipos de geosistemas con una vulnerabilidad moderada son los geosistemas mixtos, los semitransformados y los hidráulicos; y con una vulnerabilidad baja son los industriales, los urbanos y los de agricultura tecnificada.

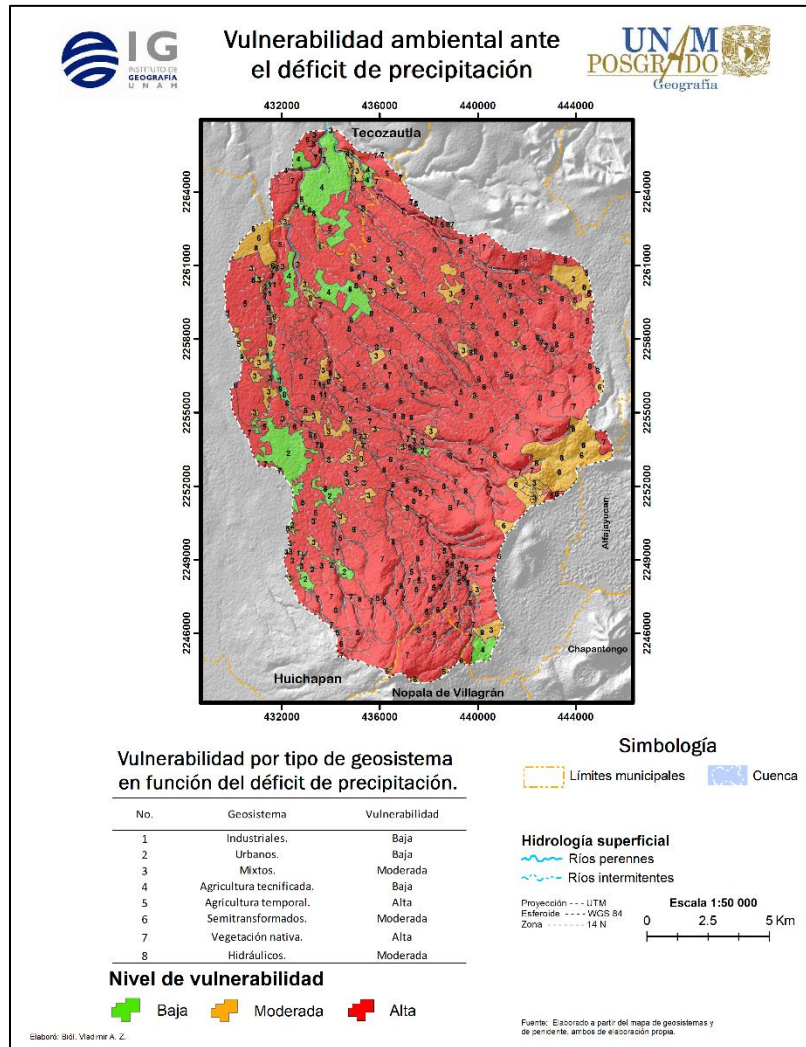


Figura 4.14. Vulnerabilidad por tipo de geosistemas ante la sequía meteorológica.

Los geosistemas resultantes con una vulnerabilidad alta, como ya se mencionó, son los de agricultura de temporal y la vegetación nativa. Ya que estos dependen completamente de la precipitación pluvial para su funcionamiento; tomando como referencia el mapa de vulnerabilidad realizado con el NDVI, éstos presentan un estrés hídrico como consecuencia de la poca precipitación que hay en la zona; que al conjugarse con la alta tasa de evaporación que presenta la cuenca, el agua pluvial que se aprovecha es poca; la mayoría se evapora teniendo como consecuencia para

la agricultura de temporal poco rendimiento de cultivos y para la vegetación nativa la nula filtración de agua hacia el subsuelo para la recarga de acuíferos ya que también entran en juego otras variables como lo es principalmente el tipo de roca ya que la permeabilidad depende de las fracturas de estas. Las pendientes son otro factor por considerar para el aprovechamiento del recurso pluvial por parte de la vegetación nativa ya que, en la zona de captación y transferencia, estas presentan pendientes mayores de 18°, lo que trae como consecuencia que en épocas de lluvias el escurrimiento del agua en los valles erosivos tenga flujos pluviales de moderados a fuertes factor que impide que esta agua sea aprovechada por los geosistemas de vegetación nativa.

Los geosistemas mixtos los cuales incluyen las localidades semiurbanas y rurales cuyo tipo de suelo también está dedicado a actividades agrícolas, los geosistemas semitransformados (pastizales inducidos y suelo desnudo), así como los geosistemas hidráulicos (bordos, jagüeyes y pequeñas presas), presentan una vulnerabilidad moderada; ya que éstos dependen de los servicios ambientales que otorga la cuenca y también de la precipitación pluvial. Al tener un uso suelo mixto (semiurbano/ rural y uso agrario) estos geosistemas tienen un funcionamiento más antrópico; es decir, si bien son funcionales tomando en cuenta el ciclo natural de la cuenca, es gracias a las actividades antrópicas los que las mantiene en funcionamiento ya que al ser mixto las comunidades que radican ahí no dependen completamente de la precipitación pluvial para sus uso doméstico ya que éstos son abastecidas por las redes de servicio público u algunas otras formas de almacenamiento de agua; para mantener en funcionamiento sus cultivos y tomando en cuenta el SPI a 3 meses, la humedad en el suelo todavía podría ser suficiente para mantener cultivos de autoconsumo . Los bordos principalmente cuando llegan a ser rellenadas lo hacen por medio de pipas, o aprovechan las épocas de lluvias para que lo hagan, de igual forma las pequeñas presas. Para el caso de los geosistemas semitransformados, Sin embargo, tomando en consideración el SPI a 6 meses desde el año 2018 hasta el año 2020 el valor está por debajo de 0 con tendencia a ser más seco, lo que indica un inicio de sequía y cuyos efectos en estos tipos de geosistemas todavía no son visibles y por lo tanto medibles.

Los geosistemas con una vulnerabilidad baja tales como los industriales, los urbanos y la agricultura tecnificada, no dependen de la precipitación pluvial por lo que pueden afrontar el fenómeno de la sequía debido a que el agua que se les distribuye se extrae de los mantos acuíferos.

Para la sistema socioeconómico, la estructura jerárquica que se elaboró propone como elementos de tercer nivel las variables de índice de marginación, el cual corresponde al elemento de la población (segundo nivel); las viviendas con cisternas o tinacos así como las viviendas que disponen de agua entubada, los cuales conciernen a las viviendas con infraestructura para el almacenamiento de agua (segundo nivel), los pozos de aprovechamiento de agua subterránea que atañe al sistema de infraestructura urbana y, los pozos de riego que corresponde al sistema

de actividades económicas. Sin embargo, las variables señaladas no pudieron ser integradas en el análisis jerárquico debido a que los datos georreferenciados de estas capas de información (extraída de los censos de población y vivienda del INEGI, 2020) son de carácter puntual y al efectuarse la sobreposición con la capa de los polígonos referentes a los geosistemas urbanos y mixtos a los que pertenecen los puntos, los demás polígonos de los otros geosistemas no contenían esta información lo que impidió realizar los cálculos de las comparaciones pareadas.

De forma similar ocurrió con los datos de los pozos de aprovechamiento y de riego proporcionada por el personal que laboró en el municipio en el año 2019; esta información recolectada en forma de puntos no se sobreponía con todos los geosistemas de la cuenca dejando muchas veces sin información los geosistemas industriales, urbanos, mixtos.

Se decidió utilizar esta información ya que fue la única información disponible en lo que se refiere a manejo y consumo de agua. Desafortunadamente la información que hay disponible en la red, específicamente en el Registro Público de Derecho del Agua (REPDA), no es suficiente y detallada para utilizarla como indicadores ya que carece de información actualizada y precisa para determinar la disponibilidad media anual del recurso hídrico tal y como señala el Consejo Consultivo del Agua A.C. (2019)

Para evaluar la vulnerabilidad socioeconómica se propone que sea por técnicas multivariante ya que este tipo de análisis permite analizar simultáneamente un conjunto de datos con diversas variables para cada localidad.

Una de estas técnicas multivariantes es el denominado Análisis de Componentes Principales (ACP) ya que esta técnica no distingue entre variables dependientes e independientes que, comparado con el Análisis Jerárquico, en este se debe de considerar que las variables sean lo más independiente posible. El objetivo principal del ACP es la reducción de un conjunto de datos para obtener grupos homogéneos que expliquen la mayor variabilidad de los datos, así como los que tienen una correlación entre sí. Quizás una de las ventajas de utilizar este tipo de análisis es que se pueden utilizar tantas variables posibles que pudieran estar vinculadas al fenómeno de estudio para obtener un resultado que sintetiza solo aquellas variables que tengan un alto grado de correlación. Caso contrario con el análisis jerárquico, aquí se recomienda utilizar solo una determinada cantidad de variables para que no haya confusión por parte del analista al momento de realizar las matrices de comparaciones pareadas; las variables que se deben de seleccionar deben de ser discutidas por un grupo de expertos que, en contraste con el ACP, este análisis solo va reduciendo las variables que son afines al objeto de estudio por medio de la correlación y el grado de estas con las variables.

Identificar la vulnerabilidad socioeconómica permitiría estudiar los diferentes tipos de sequía como son: La sequía urbana; la sequía agrícola, tomando en consideración el rendimiento de los cultivos; la sequía económica, contando las pérdidas monetarias

por pérdidas de cosecha y de ganado, por migración lo que deriva en menos ingresos municipales, por relleno de bordos y bajo aprovechamiento de estos por la evaporación, etc. Lo anterior tomando en cuenta la disponibilidad de la información o como una guía para elaborar encuestas para obtener información que sirvan como variables

Conclusiones y recomendaciones

En este trabajo se propone una metodología para abordar la problemática de la sequía meteorológica tomando como unidad de análisis integral a la cuenca de El Molino, en el municipio de Huichapan, Hidalgo, la cual sirve como base para el manejo y gestión del recurso hídrico. Subordinadas a esta cuenca, se utilizaron como unidades de análisis sectorial a los geosistemas ya que representan aspectos biofísicos y socioeconómicos que interactúan entre sí, formando, de esta manera, un sistema dinámico.

Tomando en consideración lo anterior, la implementación de los geosistemas facilita la identificación de la vulnerabilidad intrínseca de las variables relevantes que están relacionadas con el fenómeno de la sequía.

Por su parte, el enfoque de sistemas complejos, llevado a cabo en la caracterización ambiental del territorio, es determinante para establecer las interrelaciones de los geosistemas de acuerdo con su origen, su funcionamiento y su regulación; así como con el sistema antrópico, apoyando así al entendimiento de la sequía meteorológica.

Asimismo, los geosistemas se consideran como unidades territoriales de riesgo, donde interactúan la amenaza (sequía meteorológica), la vulnerabilidad (de cada tipo de geosistema) y la exposición de estos en diferentes periodos de sequía (3, 6 y 12 meses, calculados a través del Índice de Precipitación Estandarizado, SPI, por sus siglas en inglés).

En relación con el SPI a 12 meses, en términos de duración y severidad de la sequía, se puede apreciar que la tendencia es a aumentar. Si a largo plazo los periodos de sequía son más recurrentes, el grado de exposición también se incrementará, llegando a afectar la recarga del acuífero Huichapan-Tecoautla, presentándose así una nueva condición de sequía hidrológica. En este aspecto, los estudios técnicos y de manejo integral realizados en el acuífero señalan que los principales problemas que se presentan son el descenso drástico de los niveles de agua y la degradación en la calidad de la misma.

Hay que considerar que la identificación de la vulnerabilidad por tipo de geosistema fue realizada promediando los geosistemas que son vulnerables para obtener los pesos generales de los tipos de geosistemas; en este contexto, el promedio al ser sensible a los valores extremos (mínimos y máximos), la vulnerabilidad por tipo de

geosistema toma en consideración inclusive a aquellos geosistemas que pertenecen a un solo tipo, lo que significa que este geosistema tomará el valor ponderado por promedio, inclusive si este no fuera vulnerable o fuera menos vulnerable. Por lo que, si se desea identificar la vulnerabilidad por geosistema (por polígono) el procedimiento sería realizar las matrices por cada geosistema que se encuentre en la cuenca, lo cual implicaría matrices más grandes y un grado alto de complejidad.

Para el diseño de esta metodología, se pensó que sea implementada principalmente en el sector de la administración pública y se integre en la planeación territorial, ya que algunas herramientas como son los planes de ordenamiento territorial, los planes municipales de desarrollo y los atlas de riesgo; no abordan de manera detalla este tipo de vulnerabilidad, por lo que al momento de diseñar programas y políticas que ayuden a enfrentar este tipo de amenazas, estos están limitados y no necesariamente están en el contexto del territorio.

Tal es el caso del programa de ordenamiento ecológico del municipio en el cual, no se menciona como problemática el fenómeno de la sequía; de igual forma con el programa de desarrollo municipal, que, si bien hay alguna pequeña mención sobre la amenaza, las acciones orientadas para hacer frente no son del todo adecuadas, debido a que no hay estudios que indiquen cuáles son las áreas más vulnerables que pudieran ser prioritarias para su atención.

Así mismo, se espera que esta metodología pueda ser aplicada por cualquier servidor público con o poca experiencia en el tema, esto como un primer paso para integrar y fomentar la GIRD en la planeación territorial, tomando en consideración el marco jurídico internacional como lo son el Marco de Sendai, los ODS, etc., así mismo, en cumplimiento de las políticas públicas existentes a nivel nacional, regional o local. Para tal efecto, se buscó que los índices y las variables fueran accesibles en manejo e interpretación.

El aporte de este trabajo para el sector de la administración pública, en el marco de la GIRD tomando en cuenta el Marco de Sendai, radica en el cumplimiento de las dos primeras prioridades: Comprender el riesgo de desastres por medio de la recopilación, la gestión y el análisis de los datos, el cual es un primer paso para comenzar la evaluación periódica de la vulnerabilidad y la exposición, caracterizar la amenaza y sus consecuencias en lo ambiental y lo social. Los mapas generados de vulnerabilidad por sistema ambiental y de vulnerabilidad ambiental ante el fenómeno de la sequía meteorológica son también un primer paso para registrar, compartir y dar a conocer al público los impactos que se pudieran producir por una amenaza de origen meteorológico, así mismo, se busca también promover el vínculo científico con los encargados de generar políticas públicas a fin de facilitar más la conexión entre el conocimiento y la aplicación de políticas, estrategias, planes y programas para sectores específicos (geosistemas) adaptado a la localidad y al contexto. Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastre para su gestión, esto por medio de directrices y participación entre los diferentes actores que interactúan con la parte ambiental del

territorio, por medio de programas locales y regulaciones que estén encaminadas a la formulación de una política pública adaptada al contexto de la amenaza a la que están expuestos.

Algunas recomendaciones que este trabajo aporta están encaminadas a dar opciones que sirven para orientar el desarrollo de políticas públicas:

Programas de Conservación y restauración: Las dos zonas de captación como lo es el volcán Nopala y la caldera Huichapan serían consideradas como zonas para la conservación y restauración. En la cual se proponen la construcción de terrazas especialmente en las zonas con pendientes pronunciadas, las cuales se encuentran distribuidas en la parte sur de la cuenca. Esto con el fin de reducir la velocidad del agua de lluvia y promover su infiltración en el suelo, evitando así la erosión. Además, se propone establecer barreras vivas mediante la reforestación en forma de cercas en las laderas, lo que ayudará a frenar la erosión y a retener la humedad del suelo. Asimismo, la reforestación de áreas degradadas, mediante la plantación de árboles y vegetación nativa permitirá mejorar la infiltración del agua y enriquecer el suelo con materia orgánica. La rotación de cultivos también será una práctica clave, alternando diferentes tipos de cultivos en las parcelas agrícolas para preservar la estructura del suelo, mejorar su fertilidad y evitar la compactación; esta rotación de cultivos por unos de ciclo cortos pueden aprovechar las precipitaciones más tempranas o las reservas de humedad en el suelo.

Delimitar y proteger áreas de importancia “hídrico-ambiental” como son las zonas de recarga y arroyos. La red hídrica dentro de la cuenca al estar diversificada y ser de naturaleza intermitente, ha sido objeto de intervenciones humanas que van desde la descarga del drenaje producto de los asentamientos que están ubicados cerca de ellos, hasta la modificación de estos arroyos para la creación de establos, patios y parques. En este sentido, al ser una cuenca propensa a avenidas de agua moderadas a fuerte en temporadas de lluvias supone un riesgo por el mal aprovechamiento de estos ecosistemas. Por lo que el desarrollo de planes de conservación y restauración en arroyos, especialmente aquellos perturbados por la actividad humana, debe basarse en la legislación ambiental mexicana, los principios establecidos en la Constitución Política de México y en el Bando Municipal.

Ante esta problemática se propone realizar un diagnóstico detallado de la situación actual de los arroyos, incluyendo la evaluación de la calidad del agua, la vegetación riparia, la erosión de las márgenes, la pérdida de biodiversidad y otros impactos derivados de la actividad humana, como la contaminación, basándose en el cumplimiento de la legislación ambiental, en el cual se involucre a las comunidades locales en el diseño e implementación de los planes de conservación y restauración.

Coadministrar el agua en el territorio. Se ha registrado que la Conagua, al ser una autoridad sin contrapeso, ha sido extremadamente vulnerable a presiones por los intereses de empresas. Para esto es necesario fortalecer los consejos de cuenca por medio de la participación ciudadana con la finalidad de involucrar a estos actores en los procesos de administración e información en la gestión de cuencas. Además, elaborar planes rectores con estrategias y metas para lograr el acceso equitativo al recurso.

Dentro de estos planes se encuentran la creación de sistemas de alerta temprana y Planes de Emergencia. Implementar sistemas de alerta temprana para sequías y otros riesgos de desastres, así como desarrollar planes de emergencia y contingencia a nivel comunitario, fomentando así el fortalecimiento de las capacidades comunitarias a nivel local, promoviendo la participación comunitaria en la toma de decisiones y en la implementación de acciones de gestión del agua para mitigar los impactos adversos y así reducir el riesgo.

Tomando en consideración las administraciones públicas por medio de los planes municipales de desarrollo, se pone en evidencia que no hay una correcta planeación ni continuidad en la administración del agua, cuyo servicio y distribución están condicionados a criterios económicos y políticos. En este contexto se propone garantizar el respeto por los sistemas comunitarios del agua y priorizar el acceso; así mismo, los planes municipales deben incluir sistemas comunitarios de gestión para poder garantizar un acceso equitativo al servicio.

Infraestructura para el aprovechamiento hídrico: El municipio cuenta con pocas plantas tratadoras de agua residual y sistemas de captación de agua pluvial; en este aspecto, se debe de elaborar una política pública orientada a la creación de infraestructura que permita el aprovechamiento del agua pluvial por medio de redes de captación en la cabecera de la cuenca y plantas de tratamiento para evitar que las descargas caigan en zonas naturales como es el caso de los arroyos.

Implementar los programas existentes: En este rubro se cuenta con los Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación a la Sequía (PMPMS), adaptados al contexto local; es decir, si bien los PMPMS están diseñados para su aplicación a escala regional, un primer paso sería adoptar su estructura (Figura 2.4) como lo es la caracterización física y social de la cuenca, análisis de la sequía y los impactos, etc.

En este aspecto, este trabajo aporta el pilar para una construcción o vinculación con los PMPMS adaptado a una escala local ya que se cuenta con la caracterización física y social de la cuenca, además de análisis de sequías históricas e impactos y finalmente, la identificación de la vulnerabilidad tomando en consideración los geosistemas propuestos como unidades de riesgo. Finalmente se proponen algunas medidas estratégicas que sirven para prevenir y mitigar los eventos de sequía a los que es propensa la zona.

Cabe resaltar que, si bien las sequías meteorológicas forman parte de un proceso natural, el riesgo y el desastre están meramente vinculados a la cuestión social; en este sentido, cuando las sequías comienzan a tener impactos en un entorno donde no hay una comprensión de la amenaza por parte de todos los actores que están involucrados en el territorio, este se convierte en un problema de índole ambiental, social, económica y finalmente política.

Abordar la problemática de la sequía con un enfoque orientado a la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH): Este enfoque busca encaminar el desarrollo de la política pública en materia del recurso hídrico, promoviendo, entre los diferentes actores sociales, la gestión y el aprovechamiento coordinado juntamente con el uso de suelo y los otros recursos naturales, por medio del aprovechamiento sustentable de las cuencas hidrográficas.

En este contexto, en las zonas semiáridas, donde los recursos hídricos son limitados y la presión sobre el medio ambiente es alta, la gestión sostenible de los recursos naturales es esencial para garantizar la seguridad hídrica y promover la resiliencia frente a los desafíos climáticos; la división de la cuenca hidrográfica en microcuencas emerge como una estrategia clave para un manejo más eficiente y sostenible de los recursos en estas áreas vulnerables, lo que permite una gestión más detallada y específica de los recursos naturales. Al trabajar a escala local, es posible identificar y abordar los problemas específicos de cada microcuenca, adaptando las estrategias de manejo a las características particulares de cada área.

Finalmente, al trabajar con microcuencas, se fomenta la participación activa de las comunidades locales en el manejo y conservación de los recursos naturales. Esto permite una mayor apropiación de las medidas de manejo por parte de las comunidades, promoviendo así una gestión más sostenible y adaptativa de los recursos.

Referencias.

- Aguilar Astorga, C.R. (2017). *Evaluación de políticas públicas. Una aproximación*. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Aguiló A, M., Albaladejo M, J., Arambu M, Ma. P., Carrasco G, R. María., Castillo S, V., Ceñal G, Ma. Ángeles., ...Valero H, F. (2014). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico* (4ª ed.) Madrid: Fundación Conde del Valle de Salazar & Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Aguirre D, G.J., Ferrari L., Nelson S, A., Carrasco N, G., López M, M. & Fucugauchi U, J. (1998). El cinturón volcánico mexicano: Un proyecto multidisciplinario.

Geos, *Unión Geofísica Mexicana*, A.C. Recuperado de:
<https://ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos98-2/cinturon-18-2.pdf>

- Aguirre D, G.J. & López M, M. (2009). Geologic evolution of the Donguinyó-Huichapan caldera complex, central Mexican Volcanic Belt, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 179. 133 – 148.
https://www.researchgate.net/publication/248257150_Geologic_evolution_of_the_Donguinyo-Huichapan_caldera_complex_central_Mexican_Volcanic_Belt_Mexico
- Alcántara-Ayala, I., Garza Salinas, M., López García, A., Magaña Rueda, V., Oropeza Orozco, O., Puente Aguilar, S., Rodríguez Velázquez, D., Lucatello, S., Ruiz Rivera, N., Tena Núñez, R., Urzúa Venegas, M., & Vázquez Rangel, G. (2019). Gestión Integral de Riesgo de Desastres en México: reflexiones, retos y propuestas de transformación de la política pública desde la academia. *Investigaciones Geográficas*, 0(98).
- Alaska Satellite Facility (ASF). (2021). DEM ALOS PALSAR. Disponible en:
<https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS>
- Alwang, J., P. Siegel y S. Jorgensen. (2001), Vulnerability: a view from different disciplines, Social Protection Discussion Paper Series, Banco Mundial Washington.
- Arcia Rodríguez, Miriam, I. (Ed). (1994). *Geografía del medio ambiente. Una alternativa al ordenamiento ecológico*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Arias Torres, D. y Herrera Torres, A.H. (2012). *Entre políticas gubernamentales y políticas públicas. Análisis del ciclo de las políticas de desarrollo del gobierno del Estado de Michoacán, México, 2003 - 2010*. Instituto Nacional de Administración Pública A.C.
- Arreguín Cortez, F. I., López Pérez, M., Ortega Gaucin, D. e Ibáñez Hernández, O. (2016). La política pública contra la sequía en México: Avances, necesidades y perspectivas. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), Pp. 63-76. Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000500063&lng=es&tlng=es.
- Baró Suárez, J.E., Arriaga Rivera, A., Magaña Lona, D. y Ordaz Hernández, A. (2019). Estrategias de gestión integral de riesgo en el ordenamiento del territorio. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*. Num. 20, Año 11. Pp. 75 -90.

- Briones-Gamboa, F. (2007). "La Complejidad del Riesgo: breve análisis transversal". *Revista de la Universidad Cristóbal Colón*, Num. 20, Año III, Tercera Época. Pp. 9-19.
- Cabrera R, J., Castro S, J., Valdez M, G. & Arce S, J.L. (2019). Complejo volcánico Ñadó, norte del graben de Acambay: Evidencias de magmatismo oligocénico y su relación con el sector central del Cinturón volcánico Transmexicano. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 36 (1). 76 – 94. <https://www.redalyc.org/journal/572/57265242007/57265242007.pdf>
- Calderón Ramírez, D. & Frey, K. (2017). El ordenamiento territorial para la gestión de riesgo de desastres en Colombia. *Territorios*, 0(36), Pp. 239-264. Doi: <http://dx.doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.4795>
- Cardona Arboleda, Omar Darío. (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. En *Los desastres no son naturales*, comp. Andrew Maskrey, Pp. 45-65. Panamá: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina: La Red.
- Cardona Arboleda, Omar Darío. 2001. *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*. (tesis doctoral). Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- Cardona Arboleda, Omar Darío. (2001). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo: una crítica y una revisión necesaria para la gestión. Ponencia presentada en el *International Work-Conference on Vulnerability and Disaster, Theory and Practice*, 12-18, Wageningen, Holanda, 29 al 30 de junio. http://www.desenredando.org/public/articulos/2003/rmhcvr/rmhcvr_may-08-2003.pdf.
- Carney, D., Drinkwater, M., Rusinow, T., Neefjes, K., Wanmali, S., and Singh, N. (1999). *Livelihoods approaches compared*. London, UK: Department for International Development (DFID). 19p. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313349342_LIVELIHOODS_APPROACHES_COMPARED_A_brief_comparison_of_the_livelihoods_approaches_of_the_UK_Department_for_International_Development_DFID_CARE_Oxfam_and_the_United_Nations_Development_Programme_UNDP
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y Soberanía Alimentaria. (2014). *Condiciones económicas y sociales de las mujeres en México (p.3)*. México: LXII Legislatura Cámara de Diputados. En línea: <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/1217Condiciones%20econ%C3%B3micas%20y%20sociales%20de%20las%20mujeres%20rurales%20en%20M%C3%A9xico.pdf>

Centro de Estudios Internacionales Gilberto Bosques. (2017). *Plataforma Global para la reducción del riesgo de desastres-2017*. México. Senado de la república. 94p. Disponible en: https://centrogilbertobosques.senado.gob.mx/docs/LXIII_2_serieforos_24.pdf

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), (2001). *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México*. Secretaría de Gobernación, 226 p. Disponible en: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/36-DIAGNOSTICODEPELIGROSEIDENTIFICACINDERIESGOSDEDEDESASTRESENMXICO.PDF>

CENAPRED. (2006). *Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Conceptos básicos sobre peligros, riesgos y su representación geográfica*. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana, Coordinación Nacional de Protección Civil y Centro Nacional de Prevención de Desastres. México.

Centro Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (s/f). *Características Productivas de los hogares rurales en México (p.7)* México. Centro Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). En línea: https://www.coneval.org.mx/Informes/Evaluacion/Cruzada%20contra%20el%20Hambre/Caract_Prod_hogares_rurales.pdf

Chambers, R. and Conway, G.R. (1991). *Sustainable rural livelihoods: Practical concepts for the 21st century*. Brighton: Institute for Development Studies (IDS Discussion paper #296). 29p. Disponible en: https://publications.iwmi.org/pdf/H_32821.pdf

Chávez López, S. 2018. El Concepto de Riesgo. Recursos Naturales y Sociedad, 2018. Vol. 4 (1): Pp.32-52. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2018.04.04.01.0003>.

Chuvieco, E. 1995. *Fundamentos de teledetección espacial* (2ª ed). Ediciones RIALP. España. 449 p.

CLImate COMputing (CLICOM), (2022). <http://clicom-mex.cicese.mx/>

Cobo Nuñez, J., Verbist, K., Ramírez Hernández, J., Hallack – Alegria, M. (2010). *Guía metodológica para la aplicación del análisis regional de frecuencias de sequías basados en L-momentos y resultados de aplicación en América Latina*. Programa hidrológico Internacional. Montevideo, Uruguay. 77p.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2005). *Elementos conceptuales para la prevención y reducción de daños originados por*

amenazas socionaturales. CEPAL. Disponible en:
<https://archivo.cepal.org/pdfs/Waterguide/lcg2272s.pdf>

Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO). (2007). Cuencas Hidrográficas de México, escala 1: 250 000.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2017. Conjunto vectorial de Ordenamientos de aguas subterráneas.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2018. Estadísticas del Agua en México. México.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2020. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Huichapan -Tecoautla (1307), Estado de Hidalgo.

CONAGUA. 2020. CONAGUA informa sobre las condiciones de sequía en hidalgo y realiza acciones de prevención en la materia. Disponible en:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/542314/Comunicado_de_Prensa_209-20.pdf

Consejo Nacional de Población (CONAPO). 2020. Índice de marginación por localidad 2020. En línea: <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>

Cotler-Ávalos, H. (compiladora).2007. *El manejo integral de cuencas en México*. Instituto Nacional de Ecología, México, Distrito Federal. México.

Cotler, A.H., Galindo, I.D. González, R.F. Pineda y E. Ríos (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. *Cuadernos de Divulgación Ambiental*. México: CECADESU/SEMARNAT, 32 pp.

Crausbay, S. D., Ramirez, A. R., Carter, S. L., Cross, M. S., Hall, K. R., Bathke, D. J., Bathke., Betancourt, J.L., Colt, S., Cravens, Amanda.E., Dalton, S.M., Dunham, J.B., Hay, E.L., Hayes, J.M., McEvoy, J., McNutt, C. A., Moritz, M.A., Nislow, K.H., Raheem, N. & Sanford, T. (2017). Defining ecological drought for the twenty-first century. *Bulletin of the American Meteorological Society*,98(12), Pp. 2543–2550.

DataMexico. (2020). En línea:
<https://datamexico.org/es/profile/geo/huichapan#empleo-poblacion-economicamente-activa>.

De La Casa, A. y Ovando, G. (2006). Relación entre la precipitación e índices de vegetación durante el comienzo del ciclo anual de lluvias en la provincia de

córdoba, Argentina. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 35 (1), 67-85. En línea: <https://www.redalyc.org/pdf/864/86435105.pdf>

Diario Oficial de la Federación. (2015). Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del Acuífero Huichapan - Tecozautla, clave 1037, en el Estado de Hidalgo, Región Hidrológico - Administrativa Golfo Norte. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5413891

Díaz Caravantes, R.E. (2018). Vulnerabilidad y riesgo como conceptos indisociables para el estudio del impacto del cambio climático en la salud. *Región y sociedad*. Num 73. Año 30. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v30n73/1870-3925-regsoc-30-73-0006.pdf>

Domínguez, Judith. (2016). Revisión histórica de las sequías en México: de la explicación divina a la incorporación de la ciencia. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), Pp. 77-93.

Donner, William & Rodriguez, Havidan. (2008). Population Composition, Migration and Inequality: The Influence of Demographic Changes on Disaster Risk and Vulnerability. *Social Forces*. 87. 1089-1114. En línea: https://www.researchgate.net/publication/279187497_Population_Composition_Migration_and_Inequality_The_Influence_of_Demographic_Changes_on_Disaster_Risk_and_Vulnerability/citation/download.

Duarte, Carlos. M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo, M., Ríos, A. F., Simó, R. & Valladeres. F. (2006). *Cambio Global: Impacto de la actividad humana sobre el sistema de la tierra*. Madrid. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 166p.

Escobar, Briones. E., Bonilla. E., Badán. A., Caballero. M y Winckell A. (Eds.). 2001. Los efectos del fenómeno del Niño en México 1997- 1998. CONACyT.

Esparza, M. (2014). La sequía y la escasez de agua en México. Situación actual y perspectivas futuras. *Secuencia*, 0(89), 195p. doi: <https://doi.org/10.18234/secuencia.v0i89.1231>

Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de Naciones Unidas-UNISDR. (2009). Terminología sobre reducción del riesgo de desastre. Ginebra: UN.

Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres-ISDR. (2010). Documento de apoyo: Medios de vida. Disponible en: <https://eird.org/pr14/cd/documentos/espanol/Publicacionesrelevantes/Recuperacion/8-MediosdeVida.pdf>

- Fernández Lomelín, P., Sommer Cervantes, I., Cram Heydrich, Silke., Oropeza Orozco, O., Casado Izquierdo, José María. Y Sánchez Salazar, Ma. Teresa. (2020). *Métodos de integración de resultados*. En Silke Cram Heydrich, Oralia Oropeza Orozco y Pilar Fernández Lomelín (Coord.), *Vulnerabilidad intrínseca ante derrames de hidrocarburos: una propuesta para su estimación*. (pp.99 - 106). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Florescano, M. E., Sancho y Cervera, J. & Pérez Gavilán, D. (1980). Las sequías en México: Historia, características y efectos. *Comercio exterior*, 30(7), Pp. 747-757.
- Florescano, E. (1995). *Breve historia de la sequía en México* (2a ed.). México, DF: Consejo Nacional para Cultura y las Artes. 252p.
- Franco Sánchez, L. M. (2012). *La migración en el estado de Hidalgo, un enfoque de desarrollo regional*. Universidad Nacional Autónoma del Estado de Hidalgo. Hidalgo, México. 182 p.
- Galván, Tovar. Ma. L. (2017). *Caracterización hidrogeoquímica y vulnerabilidad del acuífero Huichapan - Tecozautla, Estado de Hidalgo*. (Tesis de maestría, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica. A.C.) Disponible en: <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/handle/11627/3554>
- García Acosta, V. (1993). Las sequías históricas de México. *Desastres y sociedad*, (1), Pp. 2-18.
- García Acosta, V., Pérez Zevallos, J.M. & Molina del Villar. A. (2003). *Desastres Agrícolas en México. Catálogo histórico, I. Época prehispánica y colonia (958-1822)*. México: Fondo nacional de cultura económica.
- García Acosta, V., Pérez Zevallos, J.M. & Molina del Villar. A. (2004). *Desastres Agrícolas en México. Catálogo histórico, II. Siglo XIX (1822-1900)*. México: Fondo nacional de cultura económica.
- García, E. y CONABIO. (1998). Conjunto de datos vectoriales Climas. Continuo Nacional escala 1:1,000,000. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª ed. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- García Jiménez, F., Fuentes Mariles, O., Matías Ramírez L.G (2002). Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Conceptos básicos sobre peligros, riesgos y su representación geográfica. *Fascículos. Sequía*. CENAPRED. México. 36p.

- García, R. (1994). Interdisciplinariedad y Sistemas Complejos. En E. Leff (Ed.), *Ciencias Sociales y Formación Ambiental* (Pp. 85-124). Barcelona: Gedisa, UNAM.
- Gastón Walter, C. (2016). *Territorio y lugar en las concepciones e instrumentos de planificación territorial municipal: El partido de Quilmes, Buenos Aires, Argentina, 2004 - 2014*. (Tesis doctoral). Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de la Plata.
- Gaznayee, H.A.A., Al-Quraishi, A.M.F., Mahdi, K., Ritsema, C. (2022). A Geospatial Approach for Analysis of Drought Impacts on Vegetation Cover and Land Surface Temperature in the Kurdistan Region of Iraq. *Water* 14 (6). <https://doi.org/10.3390/w14060927>
- Global Water Partnership (GWP) & Red Internacional de Organismos de Cuenca (INBO). (2009). *Manual para la gestión integrada de recursos hídricos en cuencas*. Londres, Reino Unido. 112p.
- Gómez A. M. (2012). *Inventario Físico de los recursos minerales de la carta Huichapan F14-C78. Municipios: Huichapan, Nopala, Alfajayucan, Tecozautla, Chapantongo, Tepetitlán, Chilcuautla y Tasquillo, Estado de Hidalgo*. Secretaría de Economía y Servicio Geológico Mexicano. México.
- González Díaz, J.G., García Velasco, R., Ramírez Hernández, J.J. y Castañeda Martínez, T. (2012). La territorialización de la política pública en el proceso de gestión territorial como praxis para el desarrollo. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 10(72), Pp.243 - 265.
- Gómez Orea, D & Gómez Villarino, A. (2013). *Ordenación Territorial*. España: Ediciones Mundi-Prensa. 544p.
- Gómez T, A., Orozco E, Ma. T. & Ferrari, L. (2005). Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 7 (3). 227 – 283. <http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/index.php/349-sitio/articulos/cuarta-epoca/5703/1676-5703-2-gomez>
- Hernández Cerda, Ma. E., Carrasco Anaya, G. & Alfaro Sánchez, G. (2007). Mitos y realidades de la sequía en México. Instituto de Geografía (UNAM).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1940). Censo de población y vivienda 1943. En línea: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825411879>.
- INEGI. (1950). Censo de población y vivienda 1952. En línea: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825412562>.

- INEGI. (1960). Censo de población y vivienda 1964. En línea: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825412890>.
- INEGI. (1974). Carta edafológica escala 1: 50 000, F14C67, F14C68, F14C77 y F14C78.
- INEGI. (1974). Carta geológica escala 1: 50 000, F14C77 y F14C78.
- INEGI. (1980). Censo de población y vivienda 1983. En línea: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825414382>. INEGI. (2010). Red Hidrográfica v. 2.0. Escala 1: 50 000. Subcuenca hidrográfica RH26Dh R. Tecozautla. Cuenca R. Moctezuma. RH Pánuco.
- INEGI. (1990). Censo de población y vivienda 1991. En línea: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825415952>.
- INEGI. (2000). Censo de población y vivienda 2000: Principales datos por localidad ITER. En línea: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2000/#Microdatos>.
- INEGI. (2002). *Guía de conceptos, uso e interpretación de la estadística sobre la fuerza laboral en México*. México. 79p. En línea: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/metodologias/est/702825000156.pdf.
- INEGI. 2010. Censo de población y vivienda 2010: Principales datos por localidad ITER. En línea: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/#Microdatos>.
- INEGI. (2015). Conjunto de datos vectoriales. Topografía, escala 1: 50 000, F14C67, F14C68, F14C77 y F14C78.
- INEGI. (2017). Carta vectorial de usos de suelo y vegetación serie VI.
- INEGI. (2020). Conjunto vectorial del Marco Geoestadístico, Censo de Población y Vivienda.
- INEGI. 2020. Censo de población y vivienda 2020: Principales datos por localidad ITER. En línea: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Microdatos>.
- Ingeniería y Gestión Hídrica S.C (IGH). (s.f.) Plan de Manejo Integral del Acuífero Huichapan – Tecozautla, Estado de Hidalgo. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Disponible en: http://www.igh.com.mx/htn/Docs/PM_HTN.pdf
- International Research Institute for Climate and Society. Recuperado en Agosto del 2019 en

<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.IRI/.Analyses/.SPI/?sem=iridl%3AClimate-Indices>

Ize, I y Zuk, M. (2010). Conceptos básicos en del análisis de riesgos ambientales. En I. Ize., Zuk, M. y Rojas, B. (Ed.), *Introducción al análisis de riesgos ambientales* (pp. 21-28). México, D.F., México. Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Leonard, P. (2019). *Metas globales y regionales de la Agenda 2030: ODS, Sendai y Horizontes 2030*. [Diapositiva de Power Point]. En Listado de Publicaciones de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/1.1agenda-sendai-horizontes.pdf>

Lesser I, J.M., Arellano I, S., González P, D. & Lesser C, L. E. (octubre de 2007). Isótopos y Funcionamiento del sistema acuífero Huichapan – Tecozautla, Hgo. *Memorias 6° Congreso de Aguas subterráneas, Asociación Geohidrológica Mexicana*. Disponible en: <http://www.lessor.com.mx/files/07.2-Isotopos-Huichapan-Lesser.pdf>

Ley General de Protección Civil, última reforma publicada en el DOF-19-01-2018.

Ley de Derechos y Cultura Indígena Para el Desarrollo del Estado de Hidalgo. (2014). Disponible en: http://www.pjhidalgo.gob.mx/PortalVirtual/2Consejo/Areas/Planeacion/Areas/CoordinacionGeneral/Areas/UnidadGenero/Documentos/pueblos_indigenas/LL/3.5.pdf.

Liberan caseta en carretera México - Querétaro y amenazan con bloquearla. (4 de mayo 2021). *Círculo am*. Disponible en: <https://www.am.com.mx/hidalgo/noticias/Liberan-caseta-en-carretera-Mexico-Queretaro-y-amenazan-con-bloquearla-20210504-0006.html>

Lobato Sánchez, R. (2016). El monitor de sequía en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5). Pp. 197-211.

López H, R. (2017). *Valoración de Geomorfositos en la caldera de Huichapan, Hidalgo, como alternativa de fomento a la geoconservación del paisaje desde la perspectiva de geoparque* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de México, México.

López, P.M., Arreguín Cortez, F.I. e Ibáñez, F.O. (2018). National drought policy in México: A paradigm change from reactive to proactive management. En Wilhite & Pulwarty (eds.), *Drought and water crises: Integrating Science, Management and policy* (2ed.). (Pp. 409-429). New York. Taylor & Francis group.

- Luu, Chinh & Ha, Hang & Duy Quynh, Bui & Dao, Toan. (2023). Building drought classification map with landsat 8 image data in Bac Binh district, Binh Thuan province. *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE) - NUCE*. 17(2). 120-132. En línea: https://www.researchgate.net/publication/371873703_BUILDING_DROUGHT_CLASSIFICATION_MAP_WITH_LANDSAT_8_IMAGE_DATA_IN_BAC_BINH_DISTRICT_BINH_THUAN_PROVINCE
- Magaña Rueda, Víctor O., & Gay García, Carlos (2002). Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos. *Gaceta Ecológica*. (65). Pp. 7-23. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=539/53906501>
- Magaña Rueda, Víctor. O. y Neri, C. (2012). Cambio Climático y sequías en México. *Ciencia*. Octubre – Noviembre. Pp. 26-35. Disponible en: http://revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/63_4/PDF/sequiasMexico.pdf.
- Magaña Rueda, Víctor. O., Méndez, B., Neri, C. y Vázquez, G. (2018). El riesgo ante la sequía meteorológica en México. *Realidad, datos y espacio, revista internacional de estadística y geografía*. 9(1). Pp. 35-48. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/rde/rde_24/rde_24_art03.pdf
- Melgoza Mora, D. (2013). Desarrollo territorial: política integral. *Revista de administración pública, XLVIII (2)*. Pp 15 -39.
- Méndez Pérez, J.M. (2010). *Variabilidad espacio – temporal de la sequía meteorológica en México: Aspectos Dinámicos* (Tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Meneses-Tovar, C. (2011). El Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación como indicador de la degradación del bosque. *Unasylva*, 62 (238). 39- 46. En Línea: <https://www.fao.org/3/i2560s/i2560s07.pdf>.
- Milán, M., Yáñez, C., Navarro, L., Verma, S. & Carrasco, G. (1993). Geología y geoquímica de elementos mayores de la caldera de Huichapan, Hidalgo, México. *Geofísica Internacional* (32) 2, 261-276. <http://www.revistas.unam.mx/index.php/geofisica/article/view/39515>
- Molina, L. D., & Lozano, L. P. (2016). La Desertificación del Suelo, Aspectos y Estrategias de Lucha. *Publicaciones E Investigación*, 10, Pp. 117-127. <https://doi.org/10.22490/25394088.1591>
- Monitor de Sequía en México (MSM). Porcentaje de área afectada con sequía en México. Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

- Monitor de Sequía en México (MSM). (2020). Porcentaje de afectación por sequía en México. Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>
- Montoya, R. (2021). Hidalgo: afecta sequía a 20 de 84 municipios. La jornada. Disponible en: <https://www.jornada.com.mx/2020/03/22/estados/023n2est>
- Mora, L. V. (2002). Hacia un diagnóstico territorial bajo enfoque sistémico. *Innovar: Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 20, 45–54. <http://www.jstor.org/stable/23741481>
- Municipio de Huichapan, Hidalgo (PMD-H). (2020). Plan Municipal de Desarrollo Huichapan. Disponible en: <https://www.huichapan.gob.mx/>.
- Nawrotzki RJ, Hunter LM, Dickinson TW. (2012). Rural Livelihoods and Access to natural capital: Differences between migrants and non-migrants in Madagascar. *Demographic Research*, 26, Pp. 661–699. DOI: 10.4054 / DemRes.2012.26.2
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR). (2015). *Marco de Sendai para la reducción del Riesgo de Desastres. 2015-2030*. Disponible en: https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR). (2019). Riesgos sistémicos, el Marco de Sendai y la Agenda 2030. En *Informe sobre Evaluación Global sobre Reducción del Riesgo de Desastre 2019 (GAR 2019)* (Pp.35-73). Suiza. UNDRR.
- Olcina Cantos, J. (2008). *Prevención de riesgos: Cambio climático, sequías e inundaciones*. Fundación Nueva Cultura del Agua, Convenio Universidad de Sevilla-Ministerio de Medio Ambiente. Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas. Zaragoza, 240p.
- Organización Meteorológica Mundial & Global Water Partnership (GWP). (2014). *Directrices de política nacional para la gestión de sequías: Modelo para la adopción de medidas*. Ginebra, Suiza. 43p.
- Organización Meteorológica Mundial. 2012: Guía del usuario sobre el Índice normalizado de precipitación (OMM-Nº 1090) (M. Svoboda, M. Hayes y D. Wood), Ginebra.
- Organización Meteorológica Mundial y Asociación Mundial para el Agua. 2016. Manual de indicadores e índices de sequía (M. Svoboda y B.A. Fuchs). Programa de gestión integrada de sequías, Serie 2 de herramientas y directrices para la gestión Integrada de sequías, Ginebra.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1993). *Directives pour la Planification de l'utilisation des terres*. Roma, Italia. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/T0715F/T0715F00.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2009). *Análisis de Sistemas de Gestión de riesgos: Una guía*. Por S. Baas, S. Rammasamy, J. Dey y F. Batista. Roma, Italia. 90p.
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. A/RES/70/1, 21 de octubre. Disponible en: <https://undocs.org/es/A/RES/70/1>
- Oropeza Orozco, O. (2004), "Evaluación de la vulnerabilidad a la desertificación", en Martínez, J., A. Fernández Bremauntz y P. Osnaya (comps.), *Cambio climático: una visión desde México*, SEMARNAT-INE, Pp. 303-314.
- Oropeza Orozco, O. (diciembre de 2009). *Reflexiones sobre la sequía urbana y estrategias adaptativas*. Seminario de Políticas Públicas y Desastres: Cambio Climático en México. Seminario llevado a cabo en Centro Cultural Casa Lamm, México.
- Oropeza Orozco, O. (2010). Pendiente del terreno. En Mendoza Cantú, A; Cram Heydrich, S; Sommer Cervantes, I., Oropeza Orozco, O., Pérez Damián, J.L & Hernández Juárez, M, *Atlas regional de impactos derivados de las actividades petroleras en Coatzacoalcos, Veracruz* (p. 26 – 28). Ciudad de México: INE-SEMARNAT, IG. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/130/124/455-1>
- Oropeza Orozco, O., Morales Romero, B.E. & Fernández Lomelín Ma. Del Pilar. (2017). Cartografía participativa como herramienta para el diagnóstico de la vulnerabilidad frente a amenazas de origen natural y sociocultural en las localidades rurales: Propuesta metodológica. En Rodríguez Van Gort (Coord.) *Factores de vulnerabilidad en la construcción del riesgo*. 247 p. Editorial Itaca.
- Ortega Gaucin, D. (2012). *Sequía en Nuevo León: vulnerabilidad, impactos y estrategias de mitigación*. Instituto del Agua del Estado de Nuevo León. Apodaca, N.L. 222p.
- Ortega Gaucin, D. (2013). Sequías: Causas y efectos de un fenómeno global. *Ciencia UANL*. (61). Pp. 8-15.
- Ortega Gaucin, D. y Velasco, I. (2013). Aspectos socioeconómicos y ambientales de las sequías en México. *Aqua-LAC*, 5(2). Pp. 78-99. Disponible en: <https://agua.org.mx/wp->

content/uploads/2014/06/Aspectos_socioeconomicos_y_ambientales_de_las_sequias_en_Mexico.pdf

Ortega Gaucin, D. (2014). Sequía en México y Estados Unidos de América: diferencias esenciales de vulnerabilidad y enfoques en la atención al fenómeno. *Frontera Norte*, 26(3). Pp. 141-148. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=136/13658129007>

Ortega Gaucin, D., Velasco Velasco, I., Güitrón de los Reyes, A., Arreguín Cortez, F. I. & López P, M. (2014). La gestión de sequías en México: Avances y retos. Congreso nacional de hidráulica, Puerto Vallarta, J. México. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266673772_La_Gestion_de_Sequias_en_Mexico_Avances_y_Retos

Ortega-Gaucin, David. (2018). Medidas para afrontar la sequía en México: Una visión retrospectiva. *Revista de El Colegio de San Luis*, 8(15), Pp. 77-105. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-899X2018000100077&lng=es&tlng=es.

Ortiz Pérez, M.A; Oropeza Orozco, O, Sommer Cervantes I. (2019). Identificación y delimitación de unidades territoriales. En S. Cram Heydrich; O. Oropeza, Orozco y P. Fernández Lomelín (Coords). Vulnerabilidad intrínseca ante derrames de hidrocarburos: Una propuesta para su estimación.

Palacio J., Sánchez, M.T., Casado, J. M., Propin, F. E., Delgado, C. J., Velázquez, M.A., Chias, B.L., Ortiz, A.M., Gonzáles, S.J., Negrete, F., Gabriel, M.J., Márquez, H.R., Nieda, M, T., Jiménez, R.R., Muñoz, L.E., Ocaña, N.D., Juárez, A.E., Anzaldo, G.C., Hernández, E.J., Valderrama, V.K., Rodríguez, C.J., Campos, C.J., Vera, Ll. C. y Camacho, R.C., (2004). *Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio*. Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Desarrollo Social, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México. 161 p.

Paredes, P., Maglione, D., Sandoval, M., Soto, J., Bonfili, O., Humano, G. (2022). Relación entre índices de sequía usando datos meteorológicos y satelitales en la estepa Magallánica seca (Patagonia). *Revista de investigación en modelos financieros*, 11. 45-62. En línea: https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/13116/INTA_CRPatagoniaSur_EEASantaCruz_PAREDES_PN_Relaci%C3%B3n_entre_%C3%ADndices_de_sequ%C3%ADa_Estepa_Magallanica_seca.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Paulus, N. (2004). Del Concepto de Riesgo: Conceptualización del Riesgo en Luhmann y Beck. *Revista Mad*, (10), 95-160. doi:10.5354/0718-0527.2011.14786.

- Pedraza Gilsanz, J. (1996). *Geomorfología: Principios, Métodos y Aplicaciones*. Madrid: Rueda.
- Peralta Rivero, C., Carrasco Gallegos, B.V. y Leyva González. (2017). *Análisis del impacto social, económico y ambiental de la industria cementera en el municipio de Huichapan, Hidalgo*. En línea: https://www.researchgate.net/profile/Carmelo-Rivero/publication/314875191_ANALISIS_DEL_IMPACTO_SOCIAL_ECONOMICO_Y_AMBIENTAL_DE_LA_INDUSTRIA_CEMENTERA_EN_EL_MUNICIPIO_DE_HUICHAPAN_HIDALGO_MEXICO/links/58c6d8db4585150ab42075f0/ANALISIS-DEL-IMPACTO-SOCIAL-ECONOMICO-Y-AMBIENTAL-DE-LA-INDUSTRIA-CEMENTERA-EN-EL-MUNICIPIO-DE-HUICHAPAN-HIDALGO-MEXICO.pdf?origin=publication_detail.
- Piden respuesta ante sobrevuelo de avionetas en cultivos. (30 de noviembre 2019). *Criterio*. Disponible en: <https://criteriohidalgo.com/noticias/piden-respuesta-ante-sobrevuelo-de-avioneta-en-cultivos>
- Pineda Pablos, N. y Salazar Adams, A. (2016). Ciudades y sequía en México. La gestión del agua como estrategia crítica de Mitigación. *Tecnología y ciencias del agua*. 2(5). Pp. 95-113. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n5/2007-2422-tca-7-05-00095.pdf>
- Pita López, M.F. (1989). La sequía como desastre natural. Su incidencia en el ámbito español. *Norba*, 6-7, Pp. 31- 61.
- Quintana, A. (2021). Municipios con reporte de sequía. La crónica de Hidalgo. Disponible en: <https://www.cronicahidalgo.com/2021/04/28/municipios-con-reporte-de-sequia/>
- Ramírez Velázquez, B.R. y López Levi, L. (2015). *Espacio, paisaje, región, territorio y lugar: la diversidad en el pensamiento contemporáneo*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía y Universidad Autónoma Metropolitana.
- Reyes Rivero, A., Montilla Pacheco, A. de Jesús., Castillo García, P. Germania y Zambrano Vera, Martha. N. (2017). Amenaza, vulnerabilidad y riesgo ante eventos naturales. Factores socialmente contruidos. *Journal of science and research: Revista ciencia e investigación*, 2 (6), Pp. 22-28.
- Reyes, A. (2021). Hay ocho presas sin agua por la sequía, Lluvias se incrementarán hasta junio: CONAGUA. Milenio. Disponible en: <https://www.milenio.com/politica/comunidad/hidalgo-sequia-8-presas-agua-lluvias-incrementaran-junio>

- Rodarte García, R., Galindo Escamilla, E., Díaz Pérez, F. y Fernández Fernández, G.L. (2012). *Gestión del agua y reconstrucción de la naturaleza en el Valle del Mezquital*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Disponible en: https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/5058/libro_gestion_agua.pdf.
- Rodríguez Otero, C.M. (2013). El Ordenamiento Territorial y Urbano y la gestión de riesgos en Cuba. De la teoría a la práctica. En Sánchez Salazar, M.T., Bocco Verdinelli, G., Casado Izquierdo, José M^a (Coords), *La política de ordenamiento territorial en México: De la teoría a la práctica* (Pp. 135-165). México, D.F. México. Instituto de Geografía - Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental – Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Rojas Vilches, Octavio y Martínez Reyes, Carolina (2011). Riesgos naturales: evolución y modelos conceptuales. *Revista Universitaria de Geografía*, 20, Pp.83-116
- Rosete Vergés, F.A., Enríquez Hernández, G. & Aguirre von Wobeser, E. (2012). El componente del riesgo en el Ordenamiento Ecológico del Territorio: el caso del Ordenamiento Ecológico Regional y Marino del Golfo de México y Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas*, 0(80), Pp.7-20.
- Ruiz Rivera, N. (2012). La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque normativo. *Investigaciones Geográficas*, 0(77), Pp.63-74.
- Salas, J. 1996. Hidrología de zonas áridas y semiáridas [sesión de conferencias]. Conferencia Internacional sobre “Hidrología Mediterránea”, Valencia, España.
- Sanabria Pérez, S. (2014). La ordenación del territorio: Origen y significado. *Terra.Nueva etapa*.XXX(47), Pp. 13 - 32.
- Sánchez Salazar, María. T., Palacio Prieto, José. L. (2004). La experiencia mexicana en la elaboración de los Programas Estatales de Ordenamiento Territorial. Diagnóstico, problemática y perspectivas desde el punto de vista de la participación del Instituto de Geografía de la UNAM. *Investigaciones Geográficas*, (53), Pp. 75-97.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2001). *Models, methods, concepts & applications of the Analytic Hierarchy Process*. New York: Springer.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). (2019). *Guía metodológica Estrategia municipal de gestión integral de riesgos de desastres Un paso desde la identificación de riesgos hasta la reconstrucción*. ONU - Habitat. México.

- Servicio Geológico Mexicano (SGM) y Secretaría de Economía (SE). (2009). Carta Geológica – Mienera escala 1: 50 000. F14C77 y F14C78.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2019). Información Estadística Climatológica, estación Huichapan, Hgo. Clave: 13012.
- Servicio Meteorológico Nacional. 2019. Estatus del Niño - Oscilación del Sur. Recuperado de <https://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/diagnostico-climatico/estatus-del-nino>.
- Soares, D., Murillo, D., Romero, R., Millan, G. (2014). Amenazas y Vulnerabilidades: las dos caras de los desastres en Celestún, Yucatán. *Desacatos*, (44), Pp. 159-177.
- Spikerman, J.P. (2010). *Elementos de Geología General*. Buenos Aires: Fundación de Historia Natural Félix de Azara. https://www.fundacionazara.org.ar/img/libros/elementos-de-geologia-general.pdf?fbclid=IwAR1cT9wpVdsadu0qu19-X9bpc_7wvYSDyhMjcrxE1zTfAJrG2-T_MUnkBLQ
- Trejo Albuerne, A.L. (2021). *Planificación para el desarrollo a partir de unidades territoriales de riesgo: Chetumal*. (tesis doctoral). Universidad de Quintana Roo. México.
- United States Geological Survey (USGS). (2020). Landsat Archive. LANDSAT 8 OLI TIRS (2013 – present). Disponible en: <http://earthexplorer.usgs.gov>
- Uriquijo Reguera, J. (2015). *La gestión de la sequía: Contribuciones para su evaluac*
- Useros Fernández, J.L. (2016). El cambio climático: Sus causas y efectos medioambientales. *An real Acad Med Cir Vall*, (50), Pp. 71-98.
- Van Westen, C.J. Análisis de peligro, vulnerabilidad y riesgo. Department of Earth Systems Analysis. International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC). Holanda.
- Vargas Ulate, G. (2012). ESPACIO Y TERRITORIO EN EL ANÁLISIS GEOGRÁFICO. *Reflexiones*.91(1), Pp. 313 – 326.
- Velasco, Israel, Ochoa, Leonel, & Gutiérrez, Carlos. (2005). Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Región y sociedad*, 17(34), Pp. 35-71.
- Verma, S.P., Navarro, L. & García C, L. (1992). Major – element geochemistry and mineralogy of the Huichapan Caldera, Hidalgo, Mexico. *Journal of South American Earth Sciencis* (32) 34. 327 – 336. <https://ur.booksc.eu/book/24789131/4bcaaa>

- Wilches-Chaux, Gustavo. 1993. La vulnerabilidad global. En Andrew Maskrey (comp.), *Los desastres no son naturales*. (Pp.11-44). Panamá. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina: La Red.
- Wilhite, D.A. & Glantz, M.H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water international*, (10), Pp. 111-120.
- Wilhite, D.A. & Pulwarty, R.S. (2018). Drought as Hazard: Understanding the natural and social context. En Wilhite & Pulwarty (eds.), *Drought and water crises: Integrating Science, Management and policy* (2ed.). (Pp. 3-20). New York. Taylor & Francis group.
- Wilkinson, E y Aragón-Durand, F. (2019). *¿Misión imposible? Adaptación y gestión del riesgo climático en México: Experiencia desde los estados de Quintana Roo y Yucatán*. Ciudad de México, México: El colegio de México.
- Zinck, J. A. (2012). *Geopedología: Elementos de geomorfología para estudios de suelo y riesgos naturales*. Enschede, Holanda: ITC. https://www.actswithscience.com/Descargas/zinck_geopedologia_2012.pdf

Anexo.

Cálculo de los parámetros morfológicos de la cuenca

Coefficiente de Gravelius (Kc): También conocido como coeficiente de compacidad, compara la forma de una cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. Considera que el perímetro de una cuenca tiene la misma longitud del parteaguas o de la línea divisoria que la encierra y el perímetro de la circunferencia.

Es un coeficiente adimensional que tiene por valor automático de 1 para cuencas imaginarias de forma circular, por lo que el grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar grandes volúmenes de agua de escurrimiento. Su expresión está dada por la siguiente fórmula:

$$Kc = \frac{P}{PC} = \frac{P}{2\pi R}$$

Donde:

Kc= Coeficiente de compacidad.

P= Perímetro de la cuenca.

Pc= Perímetro de la circunferencia.

R= Radio de la circunferencia

De acuerdo con el resultado, se han establecido tres categorías para la clasificación (Tabla 1 Anexo).

Tabla 1 Anexo. Formas de la cuenca de acuerdo con el factor de compacidad.

| Clase de forma | Índice de compacidad | Forma de la cuenca |
|----------------|----------------------|------------------------------------|
| Clase I | 1.0 a 1.25 | Casi redonda a oval-redonda |
| Clase II | 1.26 a 1.50 | oval-redonda a oval oblonga |
| Clase III | 1.51 a >2 | oval oblonga a rectangular oblonga |

Factor de forma de Horton (Kf): Intenta medir cuan alargada puede estar la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo está menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma. La forma de la cuenca está relacionada con la intervención de los factores geológicos, ya que son estos los encargados de modelar la fisiografía de una región y a su vez la forma de las cuencas. Un valor de *kf* superior a la unidad proporciona el grado de estrechamiento de ella. Su expresión está dada por la siguiente fórmula:

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

Kf= Factor de forma de Horton.

A= Área de la cuenca (km²).

L= Longitud del cauce principal o longitud de la cuenca.

Con el resultado obtenido del factor de forma, se establecieron ocho categorías para la clasificación de la forma (Tabla 2 Anexo).

Tabla 2 Anexo. Formas de la cuenca de acuerdo con el factor de forma de Horton.

| Valores aproximados | Forma de la cuenca |
|---------------------|-------------------------|
| < 0.22 | Muy alargada |
| 0.22 - 0.30 | alargada |
| 0.30 - 0.37 | Ligeramente alargada |
| 0.37 - 0.45 | Ni alargada ni achatada |
| 0.45 - 0.60 | Ligeramente achatada |
| 0.60 - 0.80 | Achatada |
| 0.80 - 1.20 | Muy achatada |
| > 1.20 | Rodeando el desagüe |

Coefficiente de Masividad: Representa la relación entre la elevación media de la cuenca y la superficie. Este coeficiente es calculado por la siguiente fórmula:

$$Km = \frac{hmed}{A}$$

Donde:

Km= Coeficiente de Masividad.

hmed= Altura media de la cuenca.

A= Área de la cuenca (Km2.)

Con el resultado obtenido del coeficiente de masividad se establecieron tres categorías (Tabla 3 Anexo).

Tabla 3 Anexo. Categorías del coeficiente de masividad.

| Rango | Descripción |
|----------|-------------------------|
| 0 - 35 | Moderadamente montañosa |
| 35 - 70 | Montañosa |
| 70 - 105 | Muy Montañosa |

Coficiente orográfico: Este parámetro expresa el potencial de degradación de la cuenca, toma en consideración la altura sobre el nivel de mar el cual influye directamente en el flujo potencial del agua, y el área cuya inclinación ejerce acción directa sobre la escorrentía superficial. El coeficiente es calculado a partir de la siguiente formula:

$$C_0 = \frac{hmed^2}{A}$$

Donde:

C_0 = Coeficiente de orográfico.

$Hmed^2$ = Altura media de la cuenca al cuadrado.

A= Área de la cuenca (Km²).

Este parámetro combina dos variables esenciales del relieve; la altura, que influye en la energía potencial del agua y el área proyectada, cuya inclinación ejerce acción sobre la escorrentía directa por efecto de las precipitaciones. Cuando el resultado de la ecuación es menor a 6, se considera una cuenca poco accidentada y su potencial de degradación es bajo; por el contrario, si es mayor a 6 se considera una cuenca accidentada con un potencial de degradación alta.

Pendiente media de la cuenca: Este índice representa el valor medio de todas las pendientes que conforman las diversas zonas topográficas de la cuenca. Condiciona en buena parte la velocidad con que se da el escurrimiento superficial y, por consiguiente, la capacidad de erosión y arrastre de sedimentos. Se define como la media de las pendientes de las superficies elementales del terreno; para obtener la pendiente media de la cuenca se puede emplear la siguiente formula:

$$IC = \frac{D.L}{A}$$

Donde:

IC= La pendiente media de la cuenca.

D= Equidistancia entre curvas de nivel.

A= Área de la cuenca (Km²).

Aunque se puede calcular de forma manual, actualmente las ventajas que nos ofrece los Sistemas de Información Geográfica (SIG) nos permite calcular de forma automática este índice tomando como insumo principal el modelo de pendientes

generado en la misma plataforma, así como el polígono de la cuenca. En la Tabla 4 (Anexo) se muestra la clasificación del terreno por rangos aproximados de la pendiente media.

Tabla 4. Anexo. Formas del terreno considerando la pendiente media de la cuenca.

| Pendiente media (%) | Pendiente del terreno |
|---------------------|-------------------------|
| 0 - 2 | Llano |
| 2 - 5 | Suave |
| 5 - 10 | Accidentado medio |
| 10 - 15 | Accidentado |
| 15 - 25 | Fuertemente accidentado |
| 25 - 50 | Escarpado |
| >50 | Muy escarpado |

La curva hipsométrica fue sugerida por Langbein en 1947 (Gaspari et al., 2013) misma que proporciona información sintética sobre la altitud de la cuenca. La importancia de este parámetro según Gaspari et al. (2013) radica en que es un indicador del estado de equilibrio dinámico de la cuenca. La Figura 1 muestra tres curvas hipsométricas, realizadas por el método de Strahler que corresponde a otras cuencas con potencial evolutivo distinto. En este aspecto, la curva superior A refleja una cuenca con gran potencial erosivo, la curva intermedia B muestra lo que corresponde a una cuenca en estado de equilibrio y la curva inferior C es característica de una cuenca sedimentaria; por lo que la curva A representa una fase de juventud, la curva B una fase de madurez y la curva C una fase de vejez.

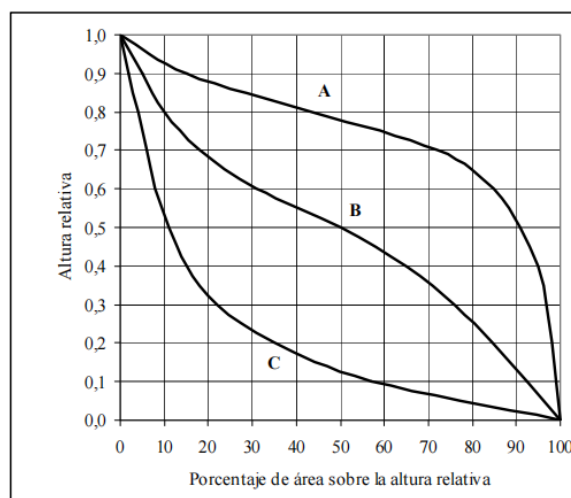


Figura 1 Anexo. Curvas Hipsométricas adimensionales, características del ciclo de erosión (según Strahler). Fuente: Gaspari *et al*, 2013.