



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL, UNIDAD OAXACA**

Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de los Recursos

Naturales

(Ingeniería)

TITULO

Análisis de vulnerabilidad hídrica en la cuenca del Valle de Ocotlán, Oaxaca

Presenta:

Martínez Sánchez Alejandra

Director:

Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez

M. en C. María de los Ángeles Ladrón de Guevara Torres

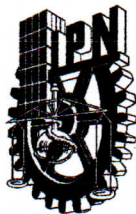
Comité Tutorial

Dr. Mario Enrique Fuente Carrasco

Dr. Francisco Castellanos León

Dra. Patricia Ávila García

Oaxaca de Juárez, 2014



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 20 del mes de mayo del 2016 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA)** para examinar la tesis de grado titulada: **Análisis de vulnerabilidad hídrica en la cuenca del Valle de Ocotlán, Oaxaca**

Presentado por la alumna:

Martínez

Apellido paterno

Sánchez

materno

Alejandra

nombre(s)

Con registro:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 1 | 4 | 0 | 0 | 5 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|

aspirante al grado de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez

M. en C. María de los Angeles Ladrón de Guevara Torres

Dr. Mario Enrique Fuente Carrasco

Dr. Francisco Castellanos León

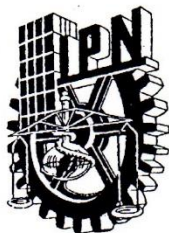
Dra. Patricia Ávila García

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez



CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
I.P.N.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día 23 del mes de mayo del año 2016, el (la) que suscribe Martínez Sánchez Alejandra, alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro A140053, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez y la M. en C. María de los Ángeles Ladrón de Guevara Torres. y cede los derechos del trabajo titulado: Análisis de vulnerabilidad hídrica en la cuenca del Valle de Ocotlán, Oaxaca, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: posgradoox@ipn.mx ó ale.mtzsa@gmail.com, Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Martínez Sánchez Alejandra



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACION PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
I.P.N.

RESUMEN

En un contexto de crisis del agua, es fundamental conocer el grado de vulnerabilidad de los grupos sociales. El objetivo de este estudio es entender la problemática del agua de la cuenca del Valle de Ocotlán desde un enfoque de vulnerabilidad hídrica a partir de la integración de un índice que incluya parámetros biofísicos, socioculturales y económicos productivos. La cuenca del Valle de Ocotlán se caracterizó. En el aspecto biofísico se hizo un análisis morfométrico de la cuenca, análisis de cobertura de la vegetación, balance hidrológico y se determinó la vulnerabilidad intrínseca de la cuenca. En lo sociocultural y económico-productivo se integró la información del censo poblacional, estadísticas de uso del agua, marginación, pobreza y actividades productivas. Con esta información, se definieron los indicadores para tres componentes: biofísico, sociocultural y económico-productivo. Todos los indicadores se normalizaron con los valores mínimos y máximos entre los municipios para establecer una medida que ayudara identificar qué aspectos afectan más o menos a los 16 municipios de la cuenca. Finalmente, se integró en un índice de vulnerabilidad hídrica, representado en mapas y diagramas axiales para entender el comportamiento de los indicadores. Los municipios de San Antonino Castillo Velasco, Santiago Apóstol y Santa Ana Zegache se encuentran en la zona de mayor vulnerabilidad. El índice vulnerabilidad permite tener una aproximación cualitativa a la problemática hídrica del valle de Ocotlán, sin embargo, existe una escasez de información a nivel municipal y los datos provienen de diversas fuentes, por lo tanto, requiere ser complementado con otros estudios multidisciplinarios que permitan entender la complejidad de los procesos biofísicos y sociales de la cuenca, por ejemplo, destacar la importancia de los esfuerzos de las comunidades en la conservación del agua y el impacto de la actividad minera en la cuenca. El factor biofísico es el que más influye en la vulnerabilidad hídrica. No existen datos actualizados de precipitación, caudal y erosión. Es necesario contar con mediciones locales recientes y aplicar herramientas computacionales que permitan estimar los datos necesarios para la caracterización hidrogeológica, ya que es indispensable para la planeación y el manejo del agua en la cuenca.

ABSTRACT

In a context of water crisis, it is essential to know the degree of vulnerability of social groups. The aim of this study is to understand the problem of water in the basin of Valley Ocotlan from an approach of vulnerability water from the integration of an index that includes biophysical, socio-cultural and economic parameters productive. The basin was characterized Ocotlán Valley. In the biophysical aspect morphometric analysis of the basin, analysis of vegetation cover, water balance was developed and the inherent vulnerability of the basin was determined. In the socio-cultural was integrated and economic-productive population census information, statistics on water use, marginalization, poverty and productive activities. With this information, the indicators were defined in three components: biophysical, socio-cultural and economic-productive. All indicators were normalized to the minimum and maximum values enter municipalities to establish a measure that would help identify which aspects affect roughly 16 municipalities in the basin. Finally, it was integrated into a water vulnerability index, represented on maps and diagrams axial to understand the behavior of indicators. The municipalities of San Antonino Castillo Velasco, Santiago Apóstol y Santa Ana Zegache are in the area of greatest vulnerability. The vulnerability index allows a qualitative to water problems of Valley Ocotlán, however, there is a lack of information at the municipal level and data from various sources, therefore, it needs to be complemented by other multidisciplinary studies to understand the complexity of the biophysical and social processes of the basin, as highlighting the importance of community efforts in water conservation and the impact of mining in the basin. The biophysical factor is the most influential in water vulnerability. There are no current precipitation data flow and erosion. There must be recent local measurements and apply computational tools to estimate the necessary data for the hydrogeological characterization, because it is indispensable for planning and management of water.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por brindarme su amor y comprensión

A Leonardo García García, por ser mi gran compañero y mi conciencia.

A la M. en C. María Ladrón de Guevara Torres, por su paciencia y su preocupación en mi trabajo. Por las experiencias inolvidables en los recorridos por el Valle de Ocotlán.

Al dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez, por su guía y sus observaciones en mi tesis, representaron un reto para mejorar mis conocimientos técnicos.

A la doctora Patricia Ávila García por brindarme su tiempo durante la estancia. Me abrió la conciencia sobre lo complejo y apasionante del estudio social.

A la Maestra Elía Mendez, por qué más que haber sido mi maestra de redacción, es mi maestra de revolución.

Al Dr. Mario Enrique Fuente Carrasco y al Dr. Francisco Castellanos León, por su pasión por compartir y enseñar.

A los grandes amigos que hice Guillermo, Rosy, Montse, Fabián, Andrea y Miguel Silva

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por su apoyo brindado durante estos dos años de formación científica, mediante su programa de becas de posgrado.

Al Instituto Politécnico Nacional y al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Oaxaca por darme un espacio y su apoyo en becas para incrementar mi conocimiento.

Contenido

| | |
|--|------------------|
| <u>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN</u> | <u>10</u> |
| PROBLEMÁTICA | 10 |
| ANTECEDENTES | 12 |
| PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN | 15 |
| HIPÓTESIS | 15 |
| OBJETIVO | 15 |
| GENERAL | 15 |
| ESPECÍFICOS | 15 |
| <u>CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO</u> | <u>16</u> |
| EL CICLO DEL AGUA | 16 |
| BALANCE HIDROLÓGICO..... | 17 |
| EL AGUA Y LA SOCIEDAD: ENFOQUES EN SU ESTUDIO Y MANEJO | 17 |
| LA GESTIÓN TRADICIONAL DEL AGUA..... | 17 |
| GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS..... | 18 |
| MANEJO ADAPTATIVO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS | 19 |
| INDICADORES COMPUESTOS..... | 19 |
| <u>CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA.....</u> | <u>21</u> |
| ÁREA DE ESTUDIO | 21 |
| DEFINICIÓN DE LAS UNIDADES DE ANÁLISIS. | 22 |
| OBTENCIÓN DE DATOS | 23 |
| IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES..... | 24 |
| ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN | 24 |
| DETERMINACIÓN DEL PESO DE LOS INDICADORES | 24 |
| CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD | 25 |
| <u>CAPÍTULO 4 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL VALLE DE OCOTLÁN</u> | <u>25</u> |

| | |
|---|------------------|
| MORFOMETRÍA DE LA CUENCA DEL VALLE DE OCOTLÁN | 25 |
| SUBCUENCAS | 28 |
| GEOLOGÍA..... | 29 |
| ACUÍFERO | 31 |
| VULNERABILIDAD INTRÍNSECA | 33 |
| CLIMAS | 36 |
| EVENTOS EXTREMOS | 39 |
| RIESGO POR SEQUÍA | 39 |
| HIDROLOGÍA..... | 40 |
| BALANCE HIDROLÓGICO | 41 |
| DISPONIBILIDAD DE AGUA | 44 |
| EDAFOLOGÍA | 45 |
| EROSIÓN | 47 |
| USO DE SUELO Y VEGETACIÓN | 48 |
| POBLACIÓN | 50 |
| MARGINACIÓN..... | 52 |
| MORTALIDAD INFANTIL | 53 |
| ACCESO AL AGUA | 54 |
| USO DEL AGUA | 55 |
| ACTIVIDADES ECONÓMICAS | 57 |
| | |
| <u>CAPÍTULO 5 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA EN EL VALLE DE OCOTLÁN.....</u> | <u>61</u> |
| | |
| VULNERABILIDAD BIOFÍSICA..... | 66 |
| VULNERABILIDAD SOCIO-CULTURAL | 67 |
| VULNERABILIDAD ECONÓMICA-PRODUCTIVA | 69 |
| VULNERABILIDAD HÍDRICA..... | 71 |
| | |
| <u>CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u> | <u>74</u> |
| | |
| BIBLIOGRAFÍA | 76 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1. MAPA DE UBICACIÓN..... | 21 |
| FIGURA 2 METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA..... | 22 |
| FIGURA 3. CURVA HIPSOMÉTRICA | 26 |
| FIGURA 4, MAPA HIPSOMÉTRICO..... | 27 |
| FIGURA 5. MAPA DE PENDIENTES..... | 27 |
| FIGURA 6. MAPA DE RELIEVE | 28 |
| FIGURA 7. MAPA DE SUBCUENCAS | 29 |
| FIGURA 8, GEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL VALLE DE OCOTLÁN | 30 |
| FIGURA 9. PERFILES GEOLÓGICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO..... | 31 |
| FIGURA 10. PIEZOMETRÍA DICIEMBRE 2015..... | 33 |
| FIGURA 11. MAPA DE VULNERABILIDAD INTRÍNSECA | 35 |
| FIGURA 12. CLIMAS..... | 37 |
| FIGURA 13. CLIMOGRAMA DE LA ESTACIÓN DE TLAPACOYAN..... | 38 |
| FIGURA 14. GRÁFICA DE LA VARIACIÓN INTERANUAL DE LA PRECIPITACIÓN..... | 38 |
| FIGURA 15. MAPA DE HIDROLOGÍA SUPERFICIAL | 41 |
| FIGURA 16. ESQUEMA GENERAL DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL VALLE DE OCOTLÁN | 42 |
| FIGURA 17. BALANCE HÍDRICO: A. PRECIPITACIÓN; B. EVAPOTRANSPIRACIÓN; C ESCORRENTÍA Y; D. INFILTRACIÓN. | 43 |
| FIGURA 18. MAPA DE DISPONIBILIDAD DE AGUA MEDIA ANUAL..... | 44 |
| FIGURA 19. MAPA DE SUELOS..... | 45 |
| FIGURA 20. MAPA DE EROSIÓN MUSLE | 48 |
| FIGURA 21. MAPA DE COBERTURA DE VEGETACIÓN..... | 49 |
| FIGURA 22. MAPA DE DENSIDAD POBLACIONAL..... | 51 |
| FIGURA 23. PROPIEDAD SOCIAL..... | 52 |
| FIGURA 24. FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA CUENCA DEL VALLE DE OCOTLÁN..... | 56 |
| FIGURA 25 MAPA DEL PORCENTAJE DE USO DE AGUA EN LA AGRICULTURA Y EL USO PÚBLICO URBANO..... | 57 |
| FIGURA 26. INDICADORES BIOFÍSICOS | 66 |
| FIGURA 27. VULNERABILIDAD SOCIOCULTURAL | 67 |
| FIGURA 28. INDICADORES SOCIO-CULTURALES | 68 |
| FIGURA 29. VULNERABILIDAD SOCIOCULTURAL | 69 |
| FIGURA 30. INDICADORES ECONÓMICOS-PRODUCTIVOS | 70 |
| FIGURA 31. VULNERABILIDAD ECONÓMICA-PRODUCTIVA..... | 70 |
| FIGURA 32. VULNERABILIDAD HÍDRICA EN LA CUENCA DEL VALLE DE OCOTLÁN | 71 |
| FIGURA 33. VULNERABILIDAD HÍDRICA EN EL VALLE DE OCOTLÁN | 72 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| TABLA 1. ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD DE ACUERDO A LA ESCALA DE ANÁLISIS. REVISIÓN REALIZADA POR (PLUMMER ET AL., 2012) | 14 |
| TABLA 2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS INDICADORES | 20 |
| TABLA 3 MUNICIPIOS DE LA CUENCA DEL VALLE DE OCOTLÁN | 23 |
| TABLA 4. PARÁMETROS MORFOMÉTICOS DE LA CUENCA DEL VALLE DE OCOTLÁN | 26 |
| TABLA 5. RANGOS Y PESOS DE PARÁMETROS DRASTIC..... | 34 |
| TABLA 6. CLIMAS DE LA CUENCA DEL VALLE DE OCOTLÁN | 36 |
| TABLA 7. ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS CERCANAS A LA CUENCA DEL VALLE DE OCOTLÁN..... | 36 |
| TABLA 8. DECLARATORIAS DE DESASTRE EN LOS MUNICIPIOS DE LA CUENCA DEL VALLE DE OCOTLÁN | 39 |
| TABLA 9. CUERPOS DE AGUA POR MUNICIPIO..... | 40 |
| TABLA 10. PORCENTAJE DE COBERTURA DE SUELO A NIVEL MUNICIPAL..... | 49 |
| TABLA 11. POBLACIÓN EN EL PERIODO DE 2000-2010..... | 50 |
| TABLA 12. INDICADORES E ÍNDICE DE MARGINACIÓN | 53 |
| TABLA 13. TASA DE MORTALIDAD INFANTIL POR MUNICIPIO | 54 |
| TABLA 14. ACCESO Y DEMANDA DE AGUA POR MUNICIPIO | 55 |
| TABLA 15. USOS DEL AGUA POR FUENTE DE ABASTECIMIENTO A NIVEL CUENCA | 56 |
| TABLA 16. PORCENTAJES EN LOS SECTORES ECONÓMICOS POR MUNICIPIO | 58 |
| TABLA 17. PRODUCCIÓN AGRÍCOLA REPORTADA EN EL REPDA | 59 |
| TABLA 18. INGRESO INFERIOR A LA LÍNEA DE BIENESTAR Y COEFICIENTE DE GINI EN LOS MUNICIPIOS DEL VALLE DE OCOTLÁN | 60 |
| TABLA 19. COMPONENTES E INDICADORES DE LA VULNERABILIDAD HÍDRICA EN LA CUENCA DEL VALLE DE OCOTLAN | 62 |
| TABLA 20. VALOR POR MUNICIPIO DE LOS INDICADORES..... | 63 |
| TABLA 21 INDICADORES NORMALIZADOS | 64 |
| TABLA 22, PESOS ASIGNADOS A CADA INDICADOR..... | 65 |
| TABLA 23. OTROS ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD O RIESGO QUE REPORTAN VALORES DE VULNERABILIDAD EN LA CUENCA DEL VALLE DE OCOTLÁN | 73 |

Capítulo 1 Introducción

Problemática

En el contexto de crisis ambientales, sociales y económicas actuales, el agua es un bien estratégico. El futuro de muchas sociedades depende de la forma en cómo se aborde su manejo y distribución.

Esta investigación se enfoca en la problemática hídrica en el Valle de Ocotlán, el cual pertenece a la región con mayor población (1,033, 884 habitantes) y de mayor importancia económica para el estado de Oaxaca. El acuífero de Valles Centrales es la principal fuente de abastecimiento de agua, el cual tiene una extensión aproximada de 3,259 km² de los cuales aproximadamente 1,130 km² conforman la zona de extracción. La Comisión Nacional del Agua lo divide en tres valles: Etna, Tlacolula y Zimatlán. En general, la problemática se relaciona con: la falta de eficiencia en el riego agrícola; la contaminación del agua superficial, principalmente en los ríos Atoyac y Salado; la deforestación en las partes altas, que trae consigo más sedimentos y provoca erosión; la escasa infraestructura tanto para el suministro de agua potable como el tratamiento de aguas residuales; la disminución de zonas de recarga debido al aumento de las zonas urbanas, que son impermeables (Reyes, 2009).

Además de esta problemática, el acuífero está bajo decreto de veda desde el 25 de septiembre de 1967 (DOF, 1967). Este tipo de veda es denominada de Tipo III que permite extracciones limitadas para usos domésticos, de riego, industriales y otros. El otorgamiento de concesiones está condicionado a los estudios de disponibilidad de agua. Los tres últimos estudios concluyen que el acuífero se encuentra al nivel límite de explotación y que existe poca disponibilidad para nuevas concesiones (Conagua, 2015).

En este contexto, existe un conflicto entre la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y comunidades del Valle de Ocotlán, por los derechos del agua. En el 2005, los campesinos se vieron afectados por una sequía que provocó el descenso de los niveles de agua en los pozos. Ante este evento, los municipios de San Antonino Castillo Velasco y Santiago Apóstol realizaron obras para retener el agua, como pozos de absorción y retenes de agua. En el 2007, la Conagua emitió notificaciones sobre concesiones vencidas o adeudos, además de que ya no habría nuevas concesiones, sustentándose en el decreto de veda de 1967. Los campesinos se vieron afectados por estas regulaciones porque no podían acceder a programas de SAGARPA o al subsidio de la Comisión Federal de Electricidad, así como multas por rebasar los volúmenes

concesionados de hasta \$20,000. Esto provocó que se organizaran 16 comunidades para formar la Coordinadora de Pueblos Unidos por la Defensa y Cuidado del Agua del Valle de Ocotlán e iniciaron acciones legales para revisar el decreto de veda, debido a que consideran que afecta sus derechos como pueblos campesinos e indígenas. En el 2013, La Primera Sala Regional Metropolitana del Tribunal Federal de Justicia Fiscal y Administrativa ordenó a la Conagua a iniciar un procedimiento en el cual se valore la solicitud de los actores para proponer al titular del Ejecutivo federal la modificación del ‘Decreto de veda del acuífero’ de Valles Centrales a través de una consulta indígena a los pueblos indígenas zapotecas del Valle de Ocotlán y Zimatlán de Álvarez.

En este caso, la Conagua argumenta que existen demasiados alumbramientos y que el acuífero presenta abatimientos de hasta un metro por año, principalmente por la actividad agrícola y por efecto en la disminución de lluvias, así como la pérdida de cobertura vegetal (Pérez et al., 2010; Reyes et al., 2009). Por otro lado, las comunidades argumentan que la Conagua no es una autoridad competente para solucionar los problemas de acceso al agua y que las medidas regulatorias sólo asfixian al campesino y no ayudan a conservar el suelo y agua para mantener el acuífero en equilibrio (Matías, 2013).

En el 2009, inició operaciones el proyecto minero “San José” de la compañía minera Cuzcatlán, filial de Fortuna Silver, de capital canadiense. Es de tipo subterráneo. Comenzó con la extracción de 1500 ton/día de minerales de oro, plata y plomo. Actualmente, se extraen 2500 ton/día. Además, se encuentran explorando un nuevo yacimiento cercano a la mina, con el proyecto denominado “Trinidad” (Fortuna Silver, 2014). El establecimiento de la mina en el municipio de San José del Progreso provocó la división de éste. El grupo opositor al proyecto cuestiona la actividad minera, ya que considera que afecta la disponibilidad y calidad del agua; argumenta que la compañía no les ha brindado información completa sobre el impacto en estos aspectos, sin embargo, el grupo opositor afirma que los niveles freáticos descendieron desde que comenzó la extracción de minerales.

En resumen, en los últimos diez años, los municipios del Valle de Ocotlán han experimentado cambios en la disponibilidad del agua, debido a periodos de sequía; la pérdida de autonomía en el control del agua, debido a las políticas de concesiones por parte de Conagua; y el inicio de operaciones de una mina, actividad que es ampliamente conocida como gran consumidora de agua. Estos cambios conducen al Valle de Ocotlán a escenarios de mayor vulnerabilidad. La

presente investigación busca integrar información biofísica, social, económica y política, que ayude a entender la vulnerabilidad actual del Valle de Ocotlán.

Antecedentes

Las investigaciones realizadas en la temática de vulnerabilidad son muy diversas y provienen de diferentes campos de investigación que van desde la antropología, la sociología hasta la ingeniería (Adger, 2006; Füssel, 2007). Los primeros estudios sobre la vulnerabilidad hídrica se enfocaron en la relación del agua y la salud humana (Plummer et al., 2012), y en los análisis de riesgo debido a desastres como sequías, inundaciones y huracanes (Adger, 2006; Luers et al., 2003). Este concepto ha cobrado importancia en el área de cambio climático (Adger, 2006; Füssel, 2007; Gay y Rueda, 2015; Jiao y Moinuddin, 2015; Joakim et al., 2015; Luers, 2005; Monterroso, 2012; Ojeda et al., 2010). Con especial énfasis a las causas y efectos de la crisis del agua en diferentes regiones del mundo (de Grosbois y Plummer, 2015; Juwana et al., 2012; Plummer et al., 2012; Sullivan, 2011; Sullivan, 2013).

El objetivo principal de la evaluación de la vulnerabilidad es la identificación de personas o lugares que son más susceptibles al daño y determinar las medidas de reducción de vulnerabilidad. (Luers, 2005). Existen diversos marcos conceptuales y métodos para estudiar la vulnerabilidad (Adger, 2006; Füssel, 2007; Sullivan y Meigh, 2007), debido a que ésta no es un fenómeno de observación directa (Monterroso, 2012); intervienen factores biofísicos, sociales, económicos y políticos que se interrelacionan en diferentes escalas por lo que es difícil su aplicación en los espacios de decisión (Adger, 2006; Füssel, 2007; Luers, 2005).

De acuerdo a Füssel y Klein (2006), existen tres enfoques en el estudio de vulnerabilidad. El primer enfoque es el de riesgo-peligro, característico de la literatura en gestión de riesgos y desastres; donde vulnerabilidad es la relación dosis-respuesta entre un riesgo exógeno al sistema y sus efectos adversos. El segundo es el constructivista social que es utilizado en la economía política y la geografía humana; se refiere a la vulnerabilidad como una condición a priori presente en un hogar o una comunidad la cual está determinada por factores socio-económicos y políticos; se relaciona con las capacidades sociales de una comunidad para enfrentar presiones externas. El tercer enfoque es el propuesto por Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), que reconoce que existen tres dimensiones de la vulnerabilidad: una externa, representada por la “exposición” de un sistema ante variaciones en el clima; una interna, “la sensibilidad”, como el grado en el que un sistema es potencialmente modificado por un

disturbio, las condiciones humanas y ambientales que pueden empeorar o disminuir los impactos; y “la capacidad adaptativa” entendida como la capacidad de un sistema de modificar sus circunstancias para cambiar a una condición menos vulnerable (Monterroso, 2012; Morales Santos, 2012). Respecto a los métodos para evaluar la vulnerabilidad existen los cuantitativos, semi cuantitativos y cualitativos. Monterroso (2012), identifica dos grupos, aquellos que consideran la evaluación a partir de indicadores y aquellos que evalúan por variable. La evaluación por variable mide y evalúa la vulnerabilidad a partir de variables de interés seleccionadas para un grupo específico de estresores. En este método la vulnerabilidad es definida en términos de cambio que pueden ocurrir en un grupo de variables, permitiendo evaluar la relación entre un rango amplio de variables. Este método ha sido aplicado, principalmente, en estudios económicos y en agricultura. Sin embargo, este tipo de evaluación no es suficiente para capturar todas las dimensiones de vulnerabilidad. La evaluación a partir de indicadores considera un grupo o combinación de indicadores y evalúa la vulnerabilidad a través de índices, promedios o pesos ponderados del grupo de indicadores. Este enfoque puede ser aplicado a cualquier escala (hogar, municipio, región, nacional) donde su principal limitante es su incapacidad de capturar la complejidad temporal y social de los sistemas evaluados.

El método por indicadores es ampliamente utilizado. Plummer et al. (2012), realizaron una revisión sobre los índices que se han desarrollado para evaluar la vulnerabilidad. Identificaron 50 formas diferentes para determinarla, las cuales varían tanto en la escala de análisis como en el número de indicadores que emplean (Tabla 1). En el estudio incluyen componentes biofísicos, de calidad, infraestructura, ambiente, demografía, salud, educación, disponibilidad de agua, cambio climático, uso, acceso, conflictos sociales, entre otros. A partir del año 2000 hay un aumento considerable en el diseño y evaluación de indicadores de vulnerabilidad.

| Escala | Numero de estudios | Porcentaje |
|----------------------------|--------------------|------------|
| No se identificó la escala | 2 | 4 |
| Escalas múltiples | 2 | 4 |
| Escala local | 7 | 14 |
| Cuenca | 11 | 22 |
| Regional | 7 | 14 |
| Nacional | 19 | 38 |
| Internacional | 2 | 4 |

Tabla 1. Estudios de vulnerabilidad de acuerdo a la escala de Análisis. Revisión realizada por (Plummer et al., 2012)

Un proyecto que destaca a nivel internacional en el desarrollo de índices e indicadores para evaluar la vulnerabilidad hídrica y social es NEWater. Es un proyecto transdisciplinario que trabaja en un marco conceptual de Manejo Adaptativo de los Recursos Hídricos. Colaboran investigadores de todo el mundo (Bharwani et al., 2008; Mysiak, et al., 2010; Pahl-Wostl et al., 2006). Las índices más relevantes que se han diseñado en este proyecto son el Índice de Pobreza del Agua, (Lawrence, et al., 2002; C. Sullivan, 2002), el índice de Vulnerabilidad Climática (Caroline Sullivan y Meigh, 2005), el Índice Agua y Medios de Vida Rurales (Sullivan, 2011) y el Índice de Vulnerabilidad Hídrica (Sullivan, 2011).

En México, los estudios de vulnerabilidad se enfocan en evaluar los impactos del cambio climático. Destaca el Atlas de Vulnerabilidad Hídrica ante el Cambio Climático, el cual aborda la vulnerabilidad hídrica desde la vulnerabilidad social, a través de los escenarios de cambio climático, los cambios en las temporadas de lluvias y ciclones debido al cambio climático, la vulnerabilidad hídrica de las aguas superficiales, la vulnerabilidad de la agricultura de riego y las repercusiones en la calidad de agua (Ojeda et al., 2010). A nivel de región hidrológica-administrativa (Ávila, 2008) realizó un análisis de la vulnerabilidad socioambiental debido al agua con indicadores cualitativos y cuantitativos: vulnerabilidad ecológica, climática por sequías e inundaciones, por disponibilidad de agua, por presión hídrica, por explotación de acuíferos, por contaminación del agua, agrícola, urbana, por marginación social, económica y política. Se organizaron en una matriz para definir el grado de vulnerabilidad socioambiental por región. Encontró que 9 de las 13 regiones tienen valores altos de vulnerabilidad, principalmente en la zona norte y centro del país.

Estudiar la vulnerabilidad hídrica en una escala regional o local a través de índices puede omitir procesos sociales, que impactan significativamente en la vulnerabilidad social y ambiental de una zona determinada por ejemplo la presencia de conflictos por el control del agua, la entrada de megaproyectos o políticas que modifican la estructura social. [Ávila \(2012\)](#), propone estudiar la vulnerabilidad hídrica y el cambio global desde dos perspectivas: abordar la realidad como una totalidad articulada y estructurada por procesos heterogéneos y como un sistema complejo, que está compuesto de subsistemas y definido por relaciones y propiedades estructurantes que a su vez están sujetas a cambios en sus condiciones de estabilidad.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son los niveles de vulnerabilidad hídrica de los municipios de la cuenca del Valle de Ocotlán en relación a las condiciones biofísicas, sociales, económicas y políticas actuales?

Hipótesis

La elaboración de un índice de vulnerabilidad hídrica con indicadores biofísicos, sociales, económicos y políticos permitirá explicar los grados de vulnerabilidad de los de los municipios de la cuenca del Valle de Ocotlán.

Objetivo

General

Evaluar la vulnerabilidad hídrica del Valle de Ocotlán a partir de la integración de parámetros biofísicos y socioculturales mediante análisis cualitativos y cuantitativos.

Específicos

- Realizar un diagnóstico biofísico y social para identificar las variables que influyen sobre la vulnerabilidad hídrica en los municipios del Valle de Ocotlán
- Definir indicadores biofísicos, sociales, económicos y políticos relaciones al tema hidrológico.
- Evaluar la vulnerabilidad hídrica mediante un análisis cuantitativo por medio de un índice de vulnerabilidad
- Evaluar el índice en los municipios del Valle de Ocotlán y propone recomendaciones.

Capítulo 2 Marco Teórico

El ciclo del agua

El agua en la naturaleza no permanece estática, presenta un constante dinamismo en el cual se definen diferentes etapas o fases. El ciclo del agua o ciclo hidrológico es el proceso mediante el cual se realiza el abastecimiento de agua para las plantas, los animales y el hombre. Su fundamento es que toda gota de agua, en cualquier momento en que se considere, recorre un circuito cerrado. Se parte de la nube como elemento de origen, desde ella se tienen distintas formas de precipitación, con lo que se puede considerar que inicia el ciclo (Maderey, 2005).

La atmósfera comprende al agua en forma de vapor y de nube que proviene, casi en su totalidad, del agua evaporada en el mar. Esta humedad es transportada, por los diversos sistemas de vientos, hacia los continentes en donde se precipita en forma líquida, sólida o de condensación (rocío y escarcha). Durante la precipitación el agua puede iniciar su retorno hacia la atmósfera, porque en su caída se evapora y una parte de ella no llega al suelo; otra parte, al caer sobre las plantas, queda interceptada en las superficies vegetales desde donde parte se evapora y también regresa a la atmósfera y parte escurre hacia el suelo y se infiltra. El agua que cae directamente al suelo será la que recorra propiamente el ciclo hidrológico; una parte de esta precipitación puede caer sobre superficies líquidas (ríos, lagos, lagunas, presas, etc.), otra parte correrá por la superficie dando lugar al escurrimiento superficial o escorrentía que llega a los cauces de los ríos y, a través de éstos, al mar. Una parte de la que se precipitó en la tierra, se evapora directamente desde el suelo, otra por infiltración, satisface la humedad del suelo (detención superficial) y cuando lo satura produce el flujo subsuperficial que, como el superficial, también llega a los cauces de los ríos; asimismo, por percolación llega a los mantos de agua subterráneos y a través del flujo subterráneo alimenta el caudal base de los ríos. El agua que se infiltra en el suelo puede volver a la superficie en forma de manantiales en situación próxima tanto geográfica como temporalmente o, por el contrario, profundizar y tener grandes recorridos y de larga duración hacia el mar o hacia depresiones endorreicas, en esta fase subterránea del ciclo (Maderey, 2005).

Este ciclo se ve afectado por la actividad humana, que cambia los patrones desde la cantidad de lluvia que cae, la velocidad de escurrimiento e infiltración así como la calidad del agua.

Balance hidrológico

El tema del ciclo del agua conduce a un planteamiento matemático: el balance hidrológico. Si se considera la cuenca de un río y también un período de tiempo, es factible estimar el agua que entra y sale en el ciclo a través de dicha superficie y durante ese lapso.

En el balance hidrológico se establecen una parte activa y una pasiva. La parte activa comprende el escurrimiento y la evaporación de la misma cuenca y del mismo período. Simultáneamente, en la parte pasiva están dos fuentes fundamentales de entrada: las precipitaciones y las precipitaciones ocultas, que en general son de escasa importancia, pero en casos particulares pueden ser decisivas para el ciclo y balance hidrológicos de algunas regiones. Éstos son los términos que corresponden a la parte hidrológica-meteorológica, pero hay otros que son de hidrología pura: las aportaciones al período siguiente y las aportaciones del período precedente. No toda el agua que escurre superficialmente proviene de la lluvia, sino que puede venir de manantiales suministrados por la reserva subterránea, no toda el agua que ha llovido corre por la superficie, sino que una parte queda en el suelo por el proceso de infiltración, para acrecentar la reserva subterránea, o queda sobre el suelo en forma de nieve y hielos, así, tanto en la parte activa como en la pasiva habrá términos de infiltración ([Maderey, 2005](#)).

El agua y la sociedad: enfoques en su estudio y manejo

Un paradigma de la gestión del agua se refiere a un conjunto de supuestos básicos acerca de la naturaleza del sistema a gestionar, los objetivos de la gestión y las formas en que se pueden lograr estos objetivos de gestión. El paradigma es compartido por una comunidad epistémica de los actores involucrados en la gerencia del agua. Se manifiesta en los artefactos tales como la infraestructura técnica, los enfoques de planificación, regulaciones, prácticas de ingeniería, modelos, etc. ([Pahl-Wostl et al., 2006](#)). Incluye las normas, reglas y procesos de toma de decisiones comunes, los cuales son construidos en determinada arena política y que toman forma alrededor de una convención internacional o una función social ([Morales Santos, 2012](#)). Los estudios de vulnerabilidad hídrica varían según el enfoque de manejo del agua. A continuación se presentan los principales enfoques.

La gestión tradicional del agua

En el pasado, el manejo de recursos hídricos se enfocaba en problemas urgentes relacionados con el aumento de las poblaciones urbanas y la intensificación de la productividad en los siglos XIX y XX. En general, los problemas del agua se resolvían de manera aislada y no se

consideraron las consecuencias indeseables a largo plazo. El paradigma de la gestión tradicional se caracteriza por un enfoque de “predicción-control” (Pahl-Wostl et al., 2006). Los problemas de manejo de los recursos hídricos se transformaron bajo este paradigma en un mero ejercicio de cómo hacer frente a las demandas crecientes de estos recursos, cómo cerrar la brecha siempre en aumento entre demandas en continua expansión y ofertas limitadas. Todas las soluciones se enfocaron por el lado de la oferta: se asumió que los déficits podrían siempre satisfacerse tomando del ciclo hidrológico el agua necesaria mediante cada vez más sofisticadas infraestructuras físicas (presas, acueductos y sistemas de transferencias entre regiones hidrológicas). Sin duda, bajo este paradigma se resolvieron algunos problemas, sin embargo se apoyó siempre en cuantiosas inversiones y en tecnologías altamente sofisticadas, no disponibles para la mayoría de las naciones pobres del mundo (Toledo, 2002).

Gestión Integrada de Recursos Hídricos

La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) comienza a tener relevancia en la Agenda 21 y de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en 1992 en Río cuando el concepto fue objeto de profundos debates que incluían sus implicaciones en la práctica (Carabias y Landa, 2005). La Asociación Mundial para el Agua la define como: “un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo y los otros recursos relacionados, con el fin de maximizar los resultados económicos y el bienestar social de forma equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales” (Sánchez y Perevochtchikova, 2012).

Las características de la GIRH son: manejar los recursos hídricos a nivel de cuencas, considerando también las subcuencas, microcuencas y acuíferos como unidades interdependientes para la gestión y desarrollo de los recursos hídricos; busca establecer objetivos a corto y largo plazos para las políticas hídricas mediante la planeación estratégica y la producción de planes maestros; está orientada a establecer la política hídrica como una política transversal, de manera que los demás sectores tomen en cuenta al agua en el desarrollo de sus propuestas y actividades de gobierno; busca integrar los principios de subsidiariedad, el principio precautorio y el de usuario y contaminador pagador como principios que apoyen las políticas hídricas (Valencia et al., 2004).

En la GIRH, los proyectos son resultado de un proceso que considera todos los usos del agua, incluido el medio ambiente y los conflictos entre los usuarios y los usos son resueltos mediante una mayor oferta, pero también mediante la innovación institucional y el manejo de la demanda.

La GIRH reconoce que los retos en materia de gestión de recursos hídricos no pueden ser resueltos exclusivamente por el Estado, sino con la participación de todos los actores sociales involucrados; por esta razón recomienda la construcción de la gobernanza como una nueva forma de gobierno, en donde el Estado figura como un garante del interés público, un facilitador/movilizador de recursos y un coordinador de las varias actividades relacionadas con la gestión y el desarrollo de los recursos hídricos, pero con el apoyo y participación de la sociedad civil organizada (Valencia et al., 2004). Las decisiones son tomadas dentro de la cuenca y existe una gran participación social en la solución de los problemas. Para que la GIRH pueda cumplir sus objetivos requiere de entender el sistema y sus interrelaciones sociales ambientales. El uso de indicadores compuestos ha demostrado ser una herramienta útil para cubrir dicho objetivo (Sánchez y Perevochtchikova, 2012).

Manejo Adaptativo de los Recursos Hídricos

Fue propuesto como una extensión del anterior, con el agregado de ofrecer un mayor potencial para atender la incertidumbre y la complejidad que los sistemas naturales y sociales han adquirido bajo las actuales condiciones de alta conectividad entre componentes naturales y sociales. Estos marcos son impulsados actualmente para su adopción como políticas públicas en la materia desde organizaciones internacionales como Naciones Unidas. El marco enfatiza el carácter sistémico y sistemático que deben tener los procesos de manejo del agua, y destaca la necesidad de desarrollar mayores capacidades para enfrentar la incertidumbre asociada a la complejidad actual de los sistemas socio-ecológicos. En este se destaca el papel del aprendizaje social para atender los problemas en torno al recurso hídrico, el cual es definido como “el aprendizaje en y por grupos para atender y manipular temas compartidos” (Burgos, 2011).

Indicadores compuestos

Un indicador se define como una función de una o más variables, que conjuntamente “miden” una característica o atributo de los individuos en estudio. Un indicador compuesto es una representación simplificada que busca resumir un concepto multidimensional en un índice simple (unidimensional) con base en un modelo conceptual subyacente (Schuschny y Soto, 2009). Un indicador tiene las siguientes características:

- Sensible a cambiar en el tiempo
- Sensible a cambiar a través del espacio o dentro de grupos
- Predictivo

- Referencia y valores disponibles (puede ser reemplazado por un indicador similar)
- Imparcial (considerar las fuentes potenciales de sesgo)
- Transformación de datos apropiada
- Integrativo

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Puede resumir temas complejos y multidimensionales para apoyar a los tomadores de decisión • Más fáciles de interpretar en lugar de tratar de encontrar una tendencia con indicadores por separado • Facilitar la tarea de clasificar a los países sobre cuestiones complejas en un ejercicio de evaluación comparativa. • Se puede evaluar el progreso a través del tiempo en asuntos complejos. • Coloque en la mesa de debate tanto los logros como los problemas en las comunidades, estados o países. • Facilitar la comunicación con el público en general y promover la rendición de cuentas. | <ul style="list-style-type: none"> • Puede enviar mensajes políticos engañosos, si están mal construidas o mal interpretados. • Puede invitar a conclusiones políticas simplistas. • Puede ser mal utilizado, por ejemplo, para apoyar una política deseada, si el proceso de construcción no es transparente y carece de sólidos principios estadísticos o conceptuales. • La selección de indicadores y los pesos podría ser el objetivo de desafío político. • Reducir el tamaño de un conjunto de indicadores o incluir más información dentro del límite de tamaño existente. • Puede ocultar deficiencias graves en algunas dimensiones y aumentar la dificultad de identificar las medidas correctivas. • Puede dar lugar a sesgos de percepción y/o confirmación o a la simplificación excesiva |

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los indicadores

La aplicación de índices es limitada por su subjetividad en la selección de indicadores y la asignación de ponderación y peso, la disponibilidad de información y la dificultad de probar o validar los resultados (Luers et al., 2003). Sin embargo, el método es valioso debido a su capacidad de monitorear tendencias y explorar marcos conceptuales (Tabla 2).

En la presente investigación, se presenta la construcción de un índice de vulnerabilidad dentro del marco conceptual de la gestión integrada de los recursos hídricos considerando los componentes: biofísico, sociocultural y económico productivo.

Capítulo 3 Metodología

Área de estudio

El Valle de Ocotlán se encuentra ubicado entre las coordenadas $16^{\circ} 36'$ y $16^{\circ}55'$ de latitud norte, $96^{\circ} 48'$ y $96^{\circ} 32'$ de longitud oeste con una superficie de 449 km^2 , al sur de la capital del Estado de Oaxaca. En náhuatl significa “el lugar de ocotes” (pinos) o “junto o entre los ocotes”. También es conocido en lengua zapoteca como Lachiroo que significa “Valle Grande” o “Plaza del Valle” (Ramírez, 2009). Forma parte de la cuenca del Río Atoyac en la porción sureste y representa el 12% de su superficie del total de acuífero.

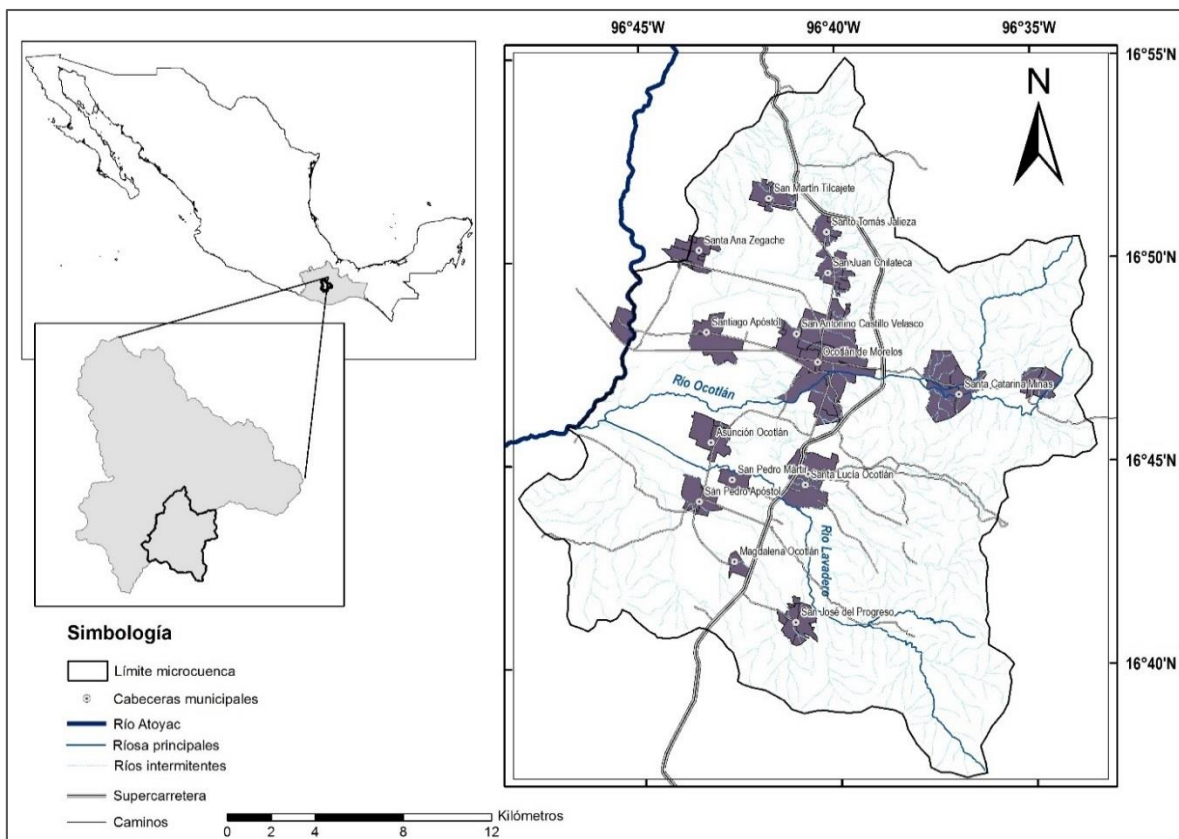


Figura 1. Mapa de Ubicación

Para entender los factores que intervienen en la vulnerabilidad de los municipios de la cuenca del Valle de Ocotlán se realizó una caracterización de la misma en la que se abordaron los aspectos biofísicos y sociales, descritos en el capítulo 4. En el aspecto biofísico se realizó un balance hidrológico con el modelo SWAT y se analizaron con imágenes de satélite las coberturas de vegetación. Debido a que la principal fuente de agua proviene al acuífero se evaluó vulnerabilidad intrínseca con el método DRASTIC para pesticidas (Aller et al., 1987)

Esta investigación se realizó en el contexto de dos procesos dentro del área de estudio y que sirvieron para enriquecer la investigación. Primero el estudio para evaluar las obras de recarga del Valle de Ocotlán solicitado por la Coordinadora de Pueblos Unidos en la Defensa y Cuidado del Agua al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, unidad Oaxaca. Se realizó una campaña de medición en los meses de abril, agosto, y noviembre de niveles piezométricos, información utilizada para evaluar la vulnerabilidad intrínseca del acuífero. El otro proceso, fue la participación en la segunda etapa de consulta indígena para la posible modificación del decreto de veda del acuífero en los Valles Centrales. La participación en esta etapa permitió recuperar testimonios de dos actores en conflictos sobre cuáles son los factores que afecta la vulnerabilidad hídrica en este valle.

El análisis de la vulnerabilidad se realizó desde el enfoque cuantitativo, mediante el cálculo de un índice, con la metodología propuesta por Ojeda et al., 2010 (Figura 2), considerando tres componentes: biofísico, sociocultural y económico productivo.

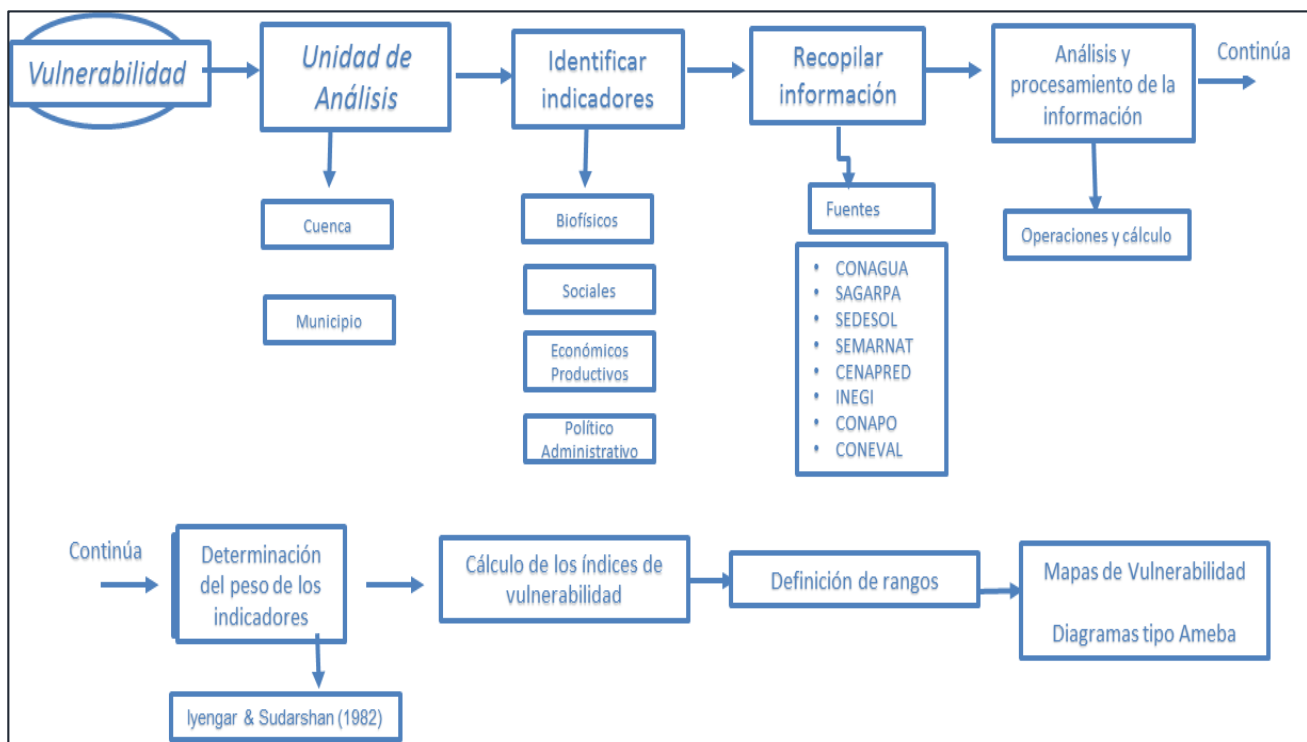


Figura 2 Metodología para la elaboración del Índice de Vulnerabilidad Hídrica

Definición de las unidades de análisis.

Para evaluar el Índice de Vulnerabilidad del Agua se consideró el nivel de cuenca y el nivel municipal. Se eligieron los municipios utilizando el marco geoestadístico 2010 de INEGI y se

seleccionaron aquellos que formaban parte de la cuenca considerando los siguientes criterios: superficie del territorio en la cuenca, más del 50% de la población en la cuenca y la presencia de la cabecera municipal. Debido a que la superficie de los municipios varía, el criterio más importante fue el de población, seguida de cabecera municipal. En total, se consideraron 16 municipios (Tabla 3).

| Clave | Municipio |
|--------------|-------------------------------|
| 7 | Asunción Ocotlán |
| 49 | Magdalena Ocotlán |
| 68 | Ocotlán de Morelos |
| 103 | San Antonino Castillo Velasco |
| 132 | San Dionisio Ocotlán |
| 72 | San José del Progreso |
| 192 | San Juan Chilateca |
| 243 | San Martín Tilcajete |
| 284 | San Miguel Tilquiápam |
| 301 | San Pedro Apóstol |
| 315 | San Pedro Mártir |
| 360 | Santa Ana Zegache |
| 368 | Santa Catarina Minas |
| 393 | Santa Lucía Ocotlán |
| 452 | Santiago Apóstol |
| 530 | Santo Tomás Jalieza |

Tabla 3 Municipios de la cuenca del Valle de Ocotlán

Obtención de datos

Para la obtención de información, se realizaron actividades de gabinete y campo. Del Instituto de Estadística y Geografía se obtuvo: El Continuo de elevaciones Mexicano, la Carta de la Zona Hidrogeológica del Acuífero de Valles Centrales de Oaxaca, Información temática de uso de suelo y edafología, escala 1:250,000, la red hidrográfica 1:50,000, Bases de datos de los Censos y conteos 2000, 2005 y 2010, La Comisión Nacional del Agua (Conagua) brindó los reportes técnicos y la base de datos de los siguientes estudios: Estudio de actualización geohidrológica del acuífero de Valles Centrales, Estudio de recarga artificial del Acuífero Valles Centrales del estado de Oaxaca y el Plan de manejo del acuífero Valles Centrales, en el estado de Oaxaca (Chávez-Guillén, 1977; COPEI, 2003; Pérez et al., 2010; Reyes et al., 2009). Se descargaron las imágenes del Satélite Landsat 8, sensor OLI de marzo del 2014. Con el apoyo de los integrantes de esta organización se tomaron los datos de piezometría en 84 pozos de las 16 comunidades a las que pertenecen. En la visita de las comunidades se hizo un reconocimiento en campo y se

capturo en una bitácora de campo la información sobre problemática del agua. Se realizaron entrevistas con integrantes de la COPUDA, y se participó en las asambleas informativas en el proceso de consulta.

Identificación de indicadores

Los indicadores se eligieron a partir de la caracterización de la cuenca descrita en el capítulo 4. Los cuales se agruparon en tres componentes: biofísico, sociocultural y económico productivo

Análisis y procesamiento de la información

Una vez obtenida la información se realizó lo siguiente:

- Preparación, manejo de datos
- Normalizar los indicadores [0,1], y sistematizar la información, bajo una relación funcional:

Si el factor aumenta la vulnerabilidad (\uparrow):

$$x_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{mín}}{X_{máx} - X_{mín}}$$

Si el factor disminuye la vulnerabilidad (\downarrow):

$$x_{ij} = \frac{X_{máx} - X_{ij}}{X_{máx} - X_{mín}}$$

Dónde: ij , valor normalizado del municipio i , factor j ; X_{ij} , valor no normalizado; $X_{máx}$, valor máximo de la matriz del factor j ; $X_{mín}$, valor mínimo de la matriz del factor j .

Determinación del peso de los indicadores

Los pesos se determinaron de acuerdo con el método de Iyengar y Sudarshan (1982):

$$P_j = \frac{1}{(\sigma_j) \left(\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{\sigma_j} \right) \right)}$$

Donde: P_j , es el peso del factor j ; σ_j es la desviación estándar de la matriz del factor j ; $\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{\sigma_j} \right)$, es la suma inversa de las desviaciones de todos los indicadores j que participan.

Este método de ponderación garantiza que grandes variaciones de uno o más indicadores, no dominen la contribución del resto de los indicadores.

Cálculo de los índices de vulnerabilidad

$$I_{vi} = \sum_{j=1}^n P_j x_{ij}$$

Donde: I_{vi} , es el índice de vulnerabilidad para el municipio i ; $P_j x_{ij}$, es el producto del peso del factor j por el valor del factor j respecto al municipio i .

Para el caso de la vulnerabilidad global:

$$\text{Vulnerabilidad hídrica: } \frac{1}{3}VB + \frac{1}{3}VSC + \frac{1}{3}VEP$$

Dónde: VB, VSC y VEP, son la vulnerabilidad biofísica, sociocultural y económico-productiva respectivamente.

Capítulo 4 Caracterización de la Cuenca del Valle de Ocotlán

Morfometría de la Cuenca del Valle de Ocotlán

La cuenca del Valle de Ocotlán se delimitó con el modelo SWAT a partir del Continuo de Elevaciones Mexicano con resolución de 30 m y los parámetros morfométricos se calcularon con el módulo de IDRISI enfocado a la Gestión Integrada del Agua (Tabla 4). La superficie de la cuenca es de 449 Km², considerada como una cuenca intermedia-pequeña. La elevación media es de 1649 msnm, la cota mínima es de 1454 y la máxima de 2866 (Figura 4). La cuenca es oval-oblonga a rectangular-oblonga, lo que indica que la probabilidad a experimentar crecidas frecuentes es baja.

| Parámetro | Unidad | Valor |
|--|-----------------|------------|
| Tamaño de la cuenca | | Intermedia |
| Superficie de cuenca | km ² | 449.31 |
| Perímetro de la cuenca. | km | 159.54 |
| Elevación media | m | 1649.86 |
| Pendiente media (grados) | ° | 8.24 |
| Pendiente media (porcentaje) | % | 15.15 |
| Coefficiente de compacidad (Gravelius) | | 2.12 |
| Relación circular | | 0.22 |
| Relación hipsométrica | | 5.52 |
| Longitud del eje del río principal | km | 31.4 |
| Coefficiente de sinuosidad hidráulico | | 1.32 |
| Tiempo de concentración Kirpich | | 2.48 |

| | |
|--|------|
| Tiempo de concentración de California Highways and Public Works | 2.49 |
| Índice de forma (Horton) | 0.02 |
| Relación de elongación | 0.15 |

Tabla 4. Parámetros morfométricos de la cuenca del Valle de Ocotlán

El tipo de curva hipsométrica indica que es una cuenca sedimentaria, en fase de vejez (Figura 3). La red hidrográfica es de tipo dendrítica, con una densidad de drenaje de 1.88 km/km² y un coeficiente de sinuosidad hidráulico de 1.32 lo que indica que la descarga del agua hacia la salida de la cuenca presenta velocidades medias.

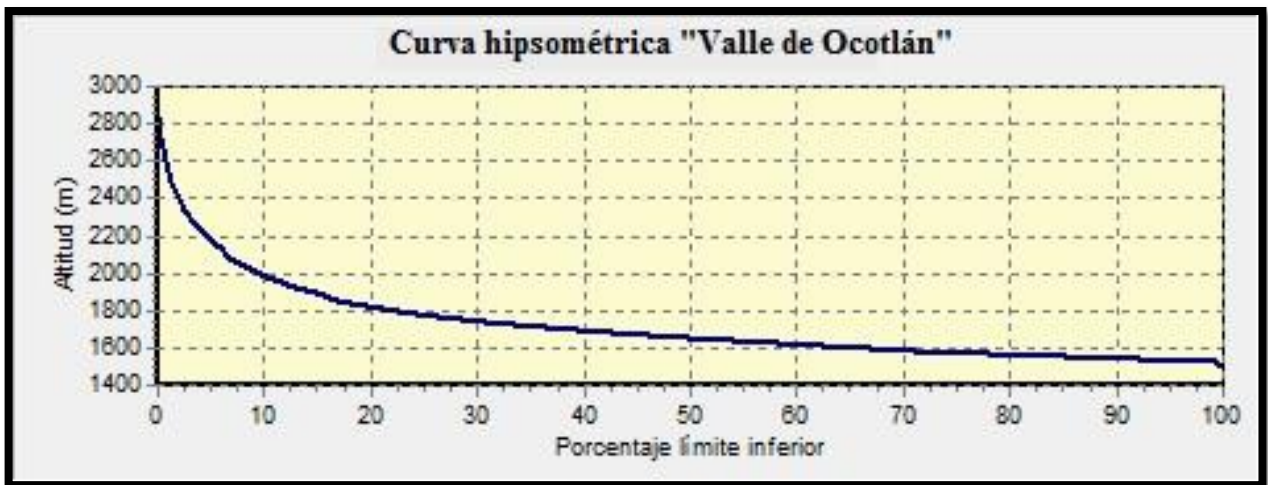


Figura 3. Curva hipsométrica

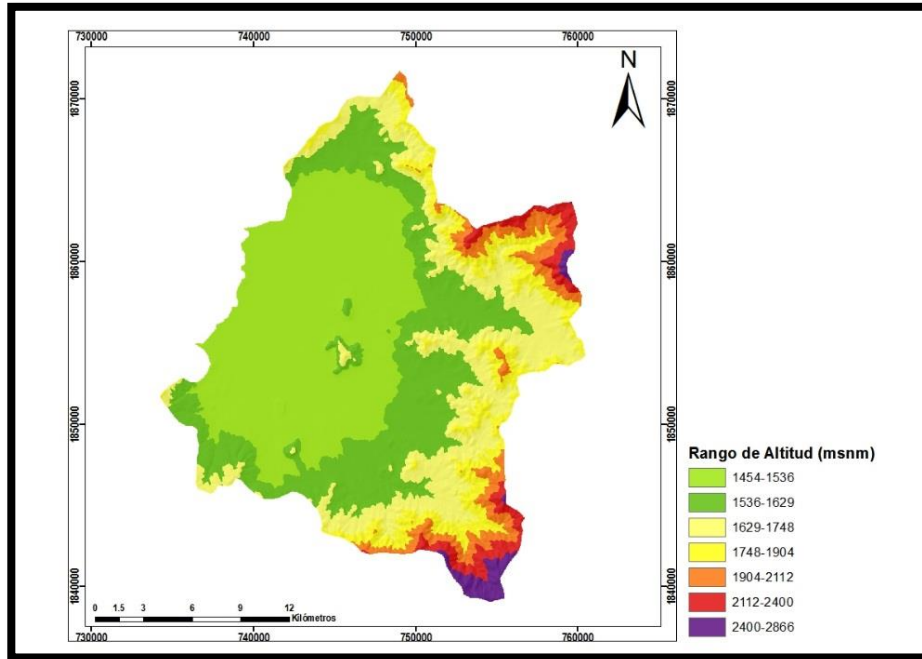


Figura 4, Mapa Hipsométrico

Las pendientes menores a 10° se encuentran a una altura entre 1454 a 1629 m.s.n.m, y representan el 69% del total de la cuenca. Las pendientes entre 10° y 25° se encuentran en las cotas de 1629 a 1748 m.s.n.m, con el 23%. Las pendientes mayores de 25° solo representan el 8% y las cotas van desde los 1904 m.s.n.m. hasta los 2866 m.s.n.m. (Figura 5).

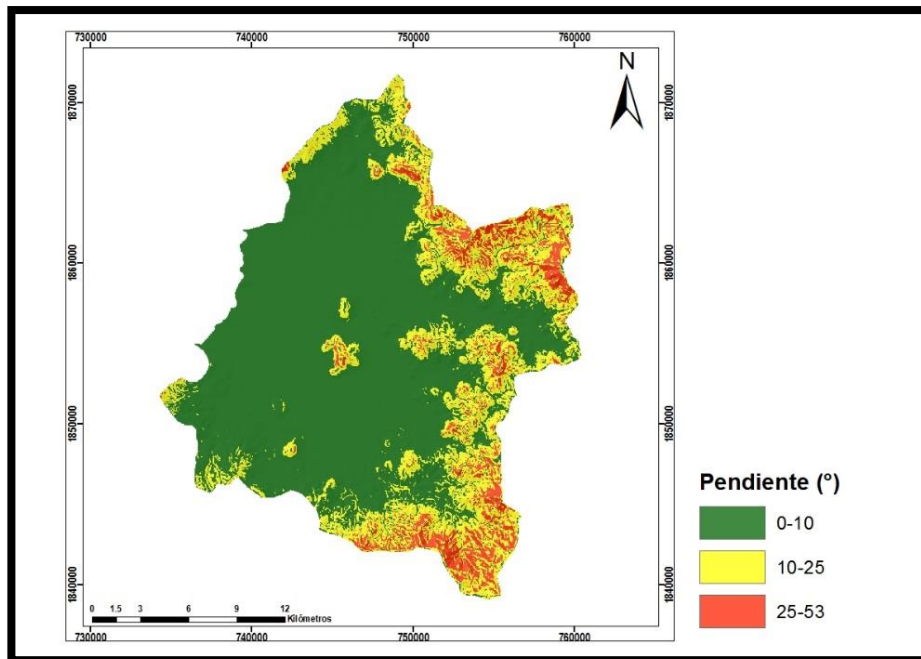


Figura 5. Mapa de pendientes

A partir del mapa hipsométrico se clasificaron las alturas en relación a la cota mínima para identificar los tipos de relieve en la cuenca (Figura 6). El tipo de relieve dominante es la llanura, que va desde formas totalmente planas a colinosas.

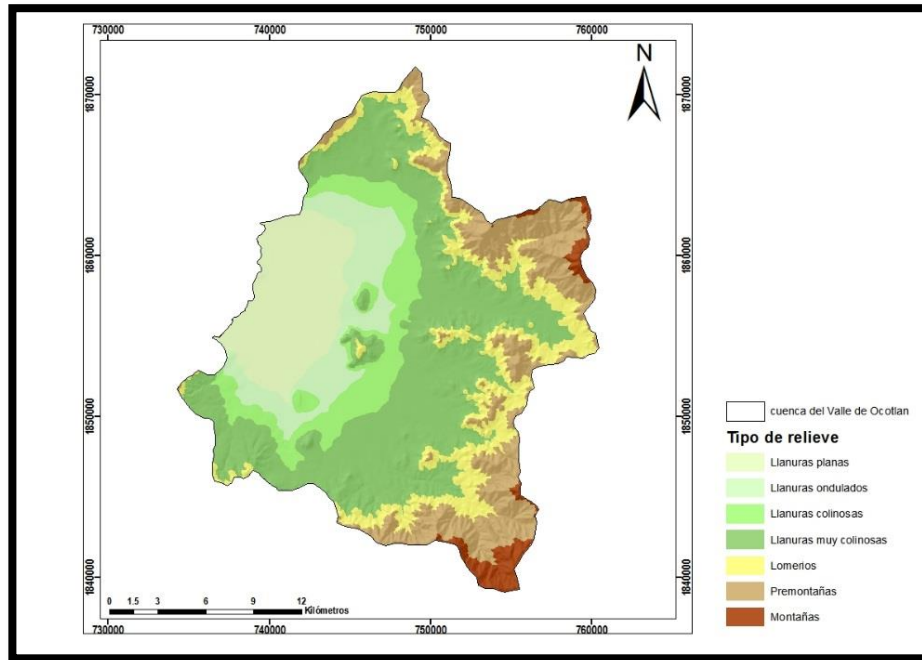


Figura 6. Mapa de relieve

Subcuencas

La cuenca del valle de Ocotlán se dividió en cuatro subcuencas en la parte alta de la cuenca y cuatro en la zona aluvial (Figura 7).

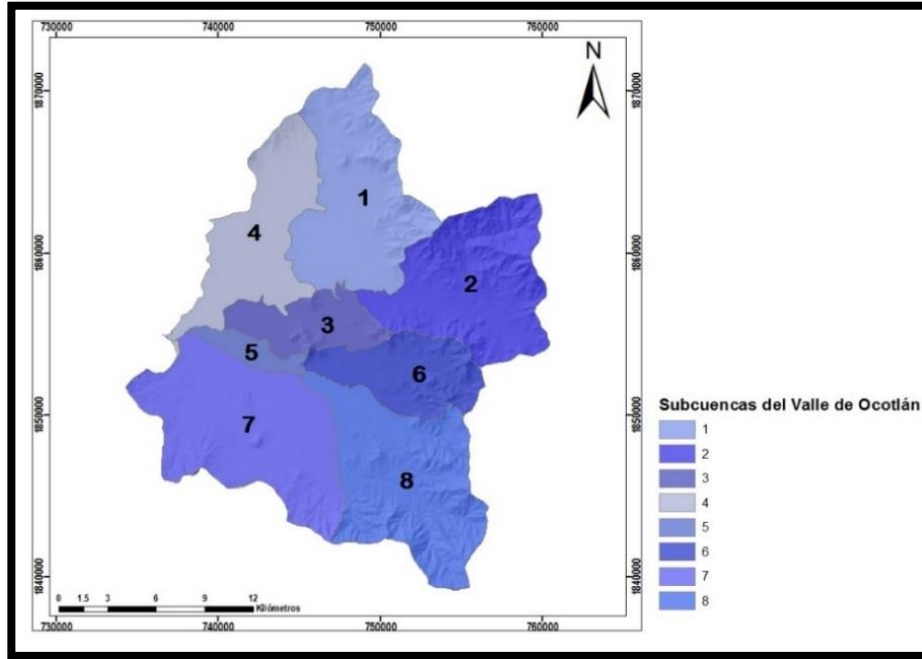


Figura 7. Mapa de Subcuencas

Geología

La cuenca del Valle de Ocotlán se encuentra dentro del terreno tectono-estratigráfico denominado Zapoteco cubierto por secuencias sedimentarias del cretácico y terciario. La estratigrafía está representada por rocas precámbricas que constituyen el basamento denominado Complejo Oaxaqueño. En la porción noroeste, sobre estas unidades se encuentra la cuenca de Oaxaca, representada por la Formación de Jaltepetongo, del cretácico inferior, que está formada de arenisca, lutita, conglomerado y caliza.

La secuencia estratigráfica consiste como base un conglomerado de fragmentos de gneises, seguido hacia la cima por una secuencia de sedimentos arcillo-calcáreos y calcáreos, seguido con areniscas calcáreas, lutitas y limolitas de estratificación delgada (figura 8 y 9). En una capa muy delgada se encuentra el aluvión y capas de limo-arena, que constituyen la zona de extracción de agua subterránea.

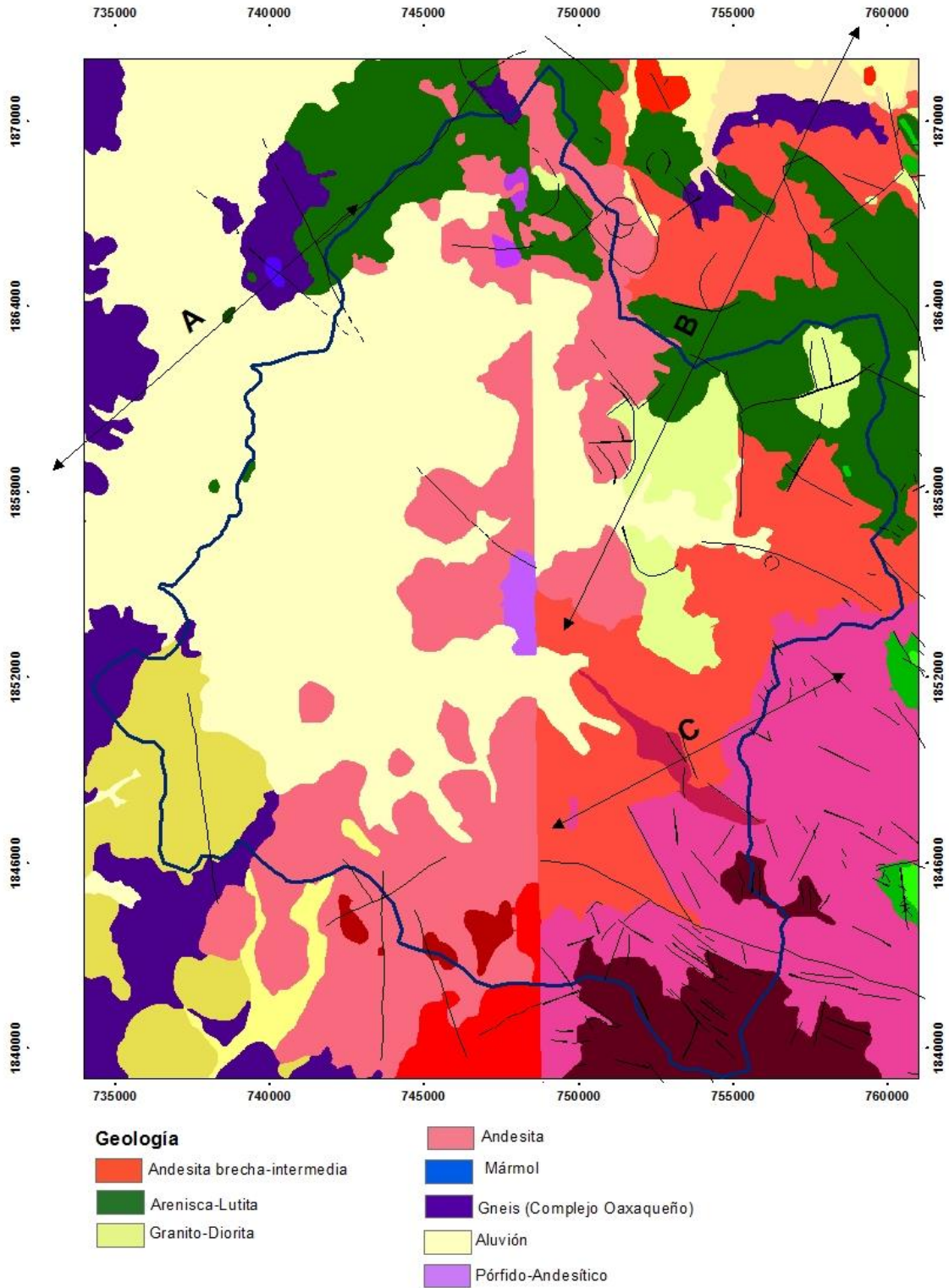


Figura 8. Geología de la cuenca del Valle de Ocotlán

Los perfiles disponibles en las cartas geológicas del Servicio Geológico Mexicano, para la zona de estudio, reflejan la estratigrafía de las secuencias litológicas del cretácico y terciario, sin embargo, se desconoce la secuencia y el grosor para la capa de aluvión del cuaternario. El perfil más cercano se encuentra en la zona del aluvión de San Pablo Huixtepec, con el cual se puede inferir los espesores del aluvión para la zona de estudio (Perfil 3, Figura 8)

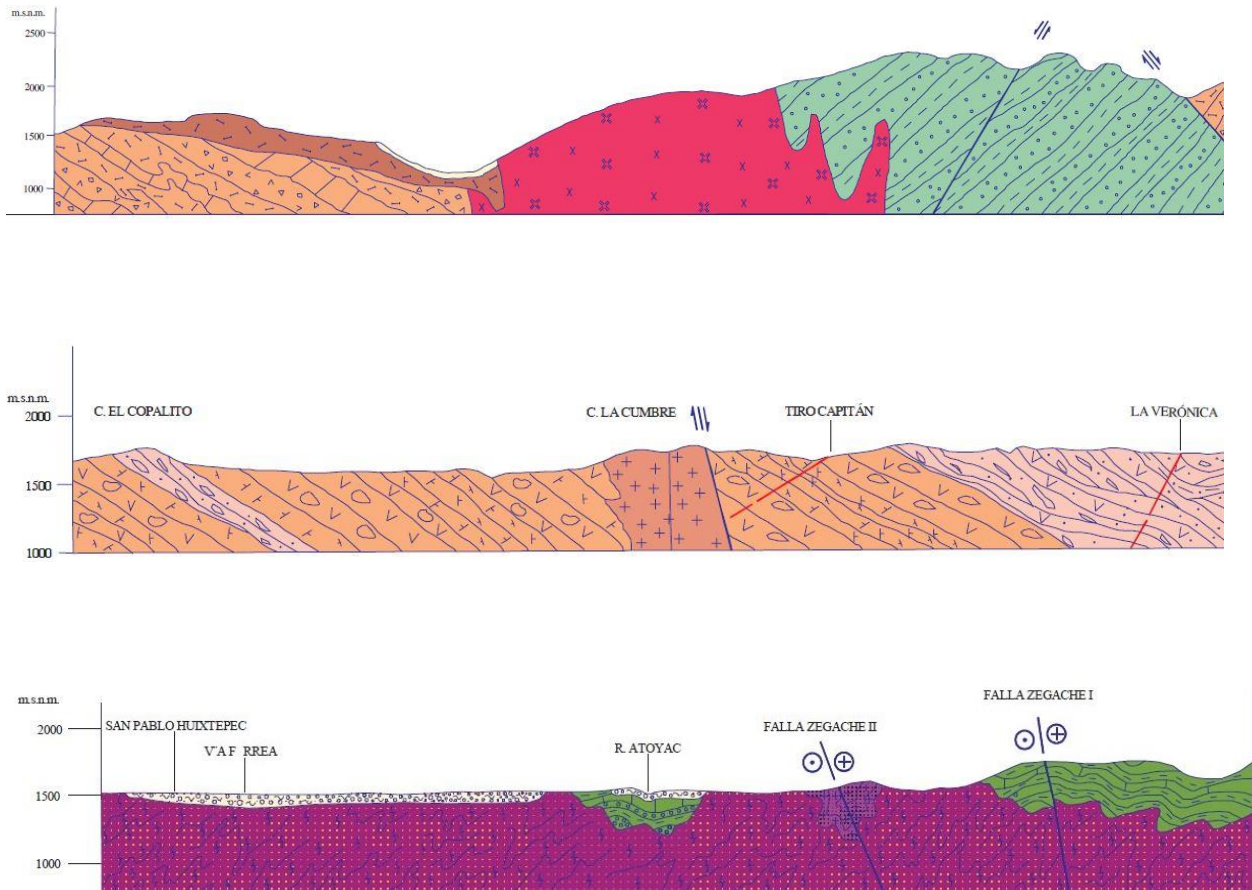


Figura 9. Perfiles Geológicos del área de estudio

Acuífero

La información más detallada sobre la naturaleza y estructura del acuífero se encuentra en un estudio realizado en 1973 denominado “Estudio Geohidrológico preliminar del Valle de Zimatlán” que reporta lo siguiente:

“El relleno aluvial está constituido por diversos materiales, desde arcilla hasta grava, que mezclados en diferentes proporciones forman lentes de espesor variable intercalados entre sí. En general, la proporción de materiales gruesos aumenta hacia el cauce del río Atoyac, y

disminuye hacia los límites del valle... Las fronteras inferiores y laterales del acuífero están constituidas por rocas metamórficas en la mayor parte del valle.”

“Se observa, además que el río Atoyac se comporta como efluente (dren del acuífero) en todo el valle: es evidente el flujo hacia el río desde ambas márgenes. Prácticamente la totalidad de la descarga del acuífero tiene lugar a lo largo del Atoyac, y poco escapa del valle subterráneamente. Esto se debe a que hacia aguas abajo la sección del relleno se reduce y prácticamente desaparece, lo que obliga al agua subterránea a aflorar en el cauce”

En 1973, los niveles freáticos se encontraban entre 3 y 8 m de profundidad, con un espesor saturado que iba entre los 10 y 90 m. Según el informe, las condiciones son poco favorables para la explotación del agua subterránea debido a su reducida extensión lateral que limita su capacidad de almacenamiento, y por los materiales gruesos que lo constituyen ya que se encuentran casi siempre mezclados con materiales finos que reducen su permeabilidad. Sin embargo en el balance de agua subterránea obtuvieron volúmenes de 40 millones de m³/año, y tan solo 5 millones de m³ estaban comprometidos y una de sus conclusiones fue: “se sugiere la conveniencia de incrementar el volumen de extracción en 30 a 35 millones de m³/año, para modificar el mecanismo de descarga del acuífero de tal manera que el volumen descargado a la atmosfera sea disminuido o anulado, mediante el abatimiento de los niveles freáticos. Sin embargo, hay factores limitantes que deben tomarse en cuenta”.

Es importante señalar que este estudio se realizó después de que se decretó veda para este acuífero y en este caso el estudio invita a explotar un potencial abundante de agua para la zona. Pocos años después se realizaron obras para la canalización del agua en la Ciénega que se encontraba en los municipios de Santa Ana Zegache, San Antonino Castillo Velasco y San Juan Chilateca.

A partir del año 2005, los campesinos han reportado años de sequía, lo cual se ha visto reflejado en los niveles de los pozos. [COPEI \(2003\)](#), reportaba que para la zona agrícola de Ocotlán de Morelos y San Antonino Castillo Velasco existían abatimientos de hasta 1.0 m por año, y que el espejo del agua subterránea alcanzó profundidades de 25.0 m. y hasta 30.0 m. Y de manera general, la disponibilidad de agua había disminuido. Sin embargo reconoce que en los últimos años existe una recuperación de los niveles para esta zona, lo cual se debe a la condición geohidrológica del acuífero, que permite su recuperación ante eventos climáticos extremos ([Reyes et al., 2009](#)).

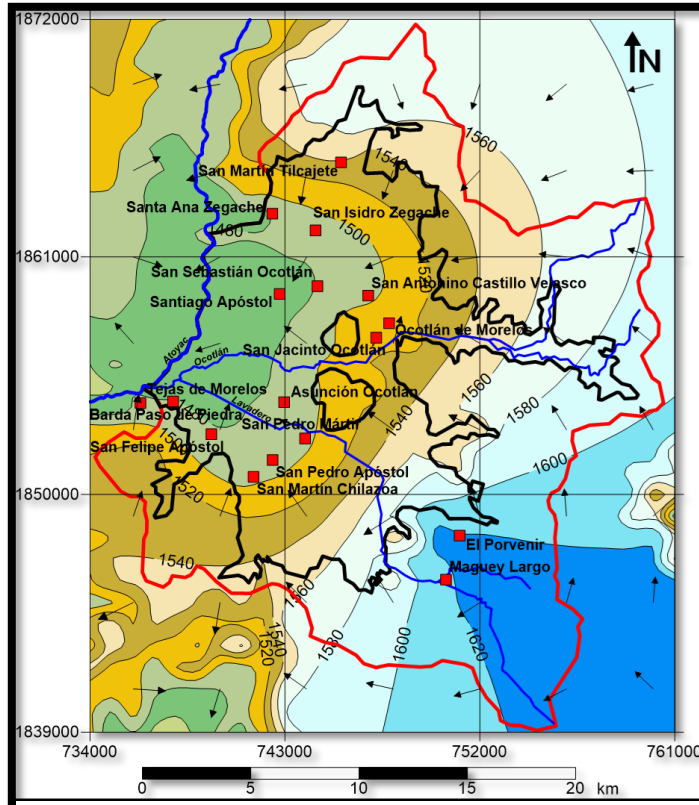


Figura 10. Piezometría diciembre 2015

Vulnerabilidad intrínseca

El relieve y las características hidrogeológicas de la cuenca del Valle de Ocotlán sugieren que hay una vulnerabilidad intrínseca, que puede ser impactada por las actividades agrícolas, la descargas de aguas negras o por la actividad minera. Se utilizó el método DRÁSTIC para pesticidas, el cual considera siete parámetros (Aller et al., 1987): 1) profundidad del nivel freático (D), 2) recarga (R), 3) tipo de acuífero (A), 4) tipo de suelo (S), 5) topografía (T), 6) naturaleza de la zona vadosa (I) y 7) conductividad hidráulica (C). Se obtuvo por cada parámetro un mapa en formato raster, para integrar el índice con la extensión *raster calculator* en ArcGIS 10 para obtener los resultados la representación espacial del índice DRASTIC.

$$\text{Índice de vulnerabilidad} = DrDw + RrRw + ArAw + SrSW + TrTW + IrIw + CrCw$$

El valor r corresponde al rango y w al peso asignados. El rango de valores fue de 0-100, vulnerabilidad baja; de 100-140, vulnerabilidad media; y mayor a 140 vulnerabilidad alta (Belmonte-Jiménez et al., 2005). Los valores utilizados de cada parámetro se muestran en la tabla 5.

| Parámetro hidrológico | Peso para pesticidas | Rango del parámetro | Rango de valores |
|---|----------------------|---------------------|------------------|
| <i>Profundidad del nivel freático (D)</i> | 5 | 0-1.5m | 10 |
| | | 1.6-4.6m | 9 |
| | | 4.7-9.1m | 7 |
| | | 9.2-15.2 | 5 |
| | | 15.3-22.9m | 3 |
| | | 22.9-30.5m | 2 |
| <i>Recarga (R)</i> | 4 | Menos de 50 mm | 1 |
| <i>Tipo de acuífero (A)</i> | 3 | Andesita | 3 |
| | | Aluvi6n | 6 |
| <i>Tipo de suelo (S)</i> | 5 | Leptosol | 10 |
| | | Regosol | 9 |
| | | Fluvisol | 8 |
| | | Luvisol | 6 |
| | | Phaeozem | 6 |
| | | Cambisol | 3 |
| | | Vertisol | 3 |
| <i>Topografía (T)</i> | 3 | 0-2 | 10 |
| | | 2-6 | 9 |
| | | 6-12 | 5 |
| | | 12-18 | 3 |
| | | >18 | 1 |
| <i>Zona vadosa (I)</i> | 4 | Andesita | 3 |
| | | Aluvi6n | 7 |
| <i>Conductividad hidr6ulica (C)</i> | 2 | 0.04 – 4.08 m/día | 1 |
| | | 4.09 – 12.22 m/día | 2 |
| | | 12.23 – 28.55 m/día | 3 |
| | | 28,56 - 32 m/día | 6 |

Tabla 5. Rangos y pesos de parámetros DRASTIC

Los valores más altos corresponden a zonas de pendientes <10% y profundidades del nivel estático entre 4-10 m. El 42% de la superficie de la cuenca presenta valores altos; 34%, valores medios y 24% con valores bajos de vulnerabilidad (Figura 11). Los parámetros que más influyeron fueron la profundidad del nivel freático, la topografía y la conductividad hidr6ulica.

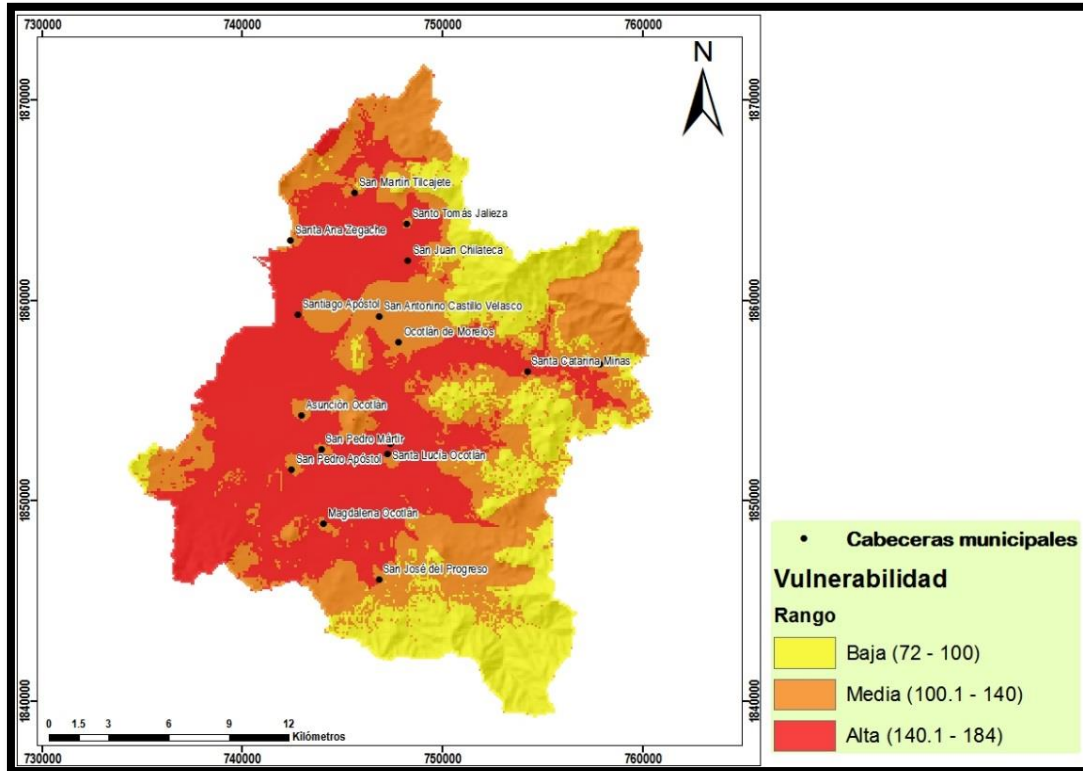


Figura 11. Mapa de Vulnerabilidad Intrínseca

Climas

Con base en [García y CONABIO \(1998\)](#), la mayor parte de la cuenca es de clima semicálido subhúmedo (74%), semiárido cálido (18%) y clima templado subhúmedo en las partes altas de la cuenca (Tabla 6 y Figura 12).

Tabla 6. Climas de la cuenca del Valle de Ocotlán

| Tipo de clima | Área (Ha) | % Cuenca | Descripción de la temperatura | Descripción de la precipitación |
|---------------|-----------|----------|--|---|
| (A)C(wo) | 33175 | 74% | Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. | Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2, y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. |
| BS1(h')w | 3515 | 8% | Semiárido cálido, temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frío mayor de 18°C. | Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. |
| C(wo) | 8241 | 18% | Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. | Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2 y porcentaje de precipitación invernal del 5% al 10.2% del total anual. |

Son tres las estaciones más cercanas a la cuenca del valle de Ocotlán con registro de más de 29 años (Tabla 7)

| Clave | Estación | Latitud | Longitud | Altitud (msnm) | Periodo |
|-------|----------------------|---------|----------|----------------|-----------|
| 20079 | Oaxaca | 17.083 | -96.710 | 1594 | 1953-2012 |
| 20118 | San Miguel Ejutla | 16.579 | -96.737 | 1446 | 1928-2012 |
| 20202 | Santa Ana Tlapacoyan | 16.74 | -96.817 | 1525 | 1972-2010 |

Tabla 7. Estaciones climatológicas cercanas a la cuenca del Valle de Ocotlán

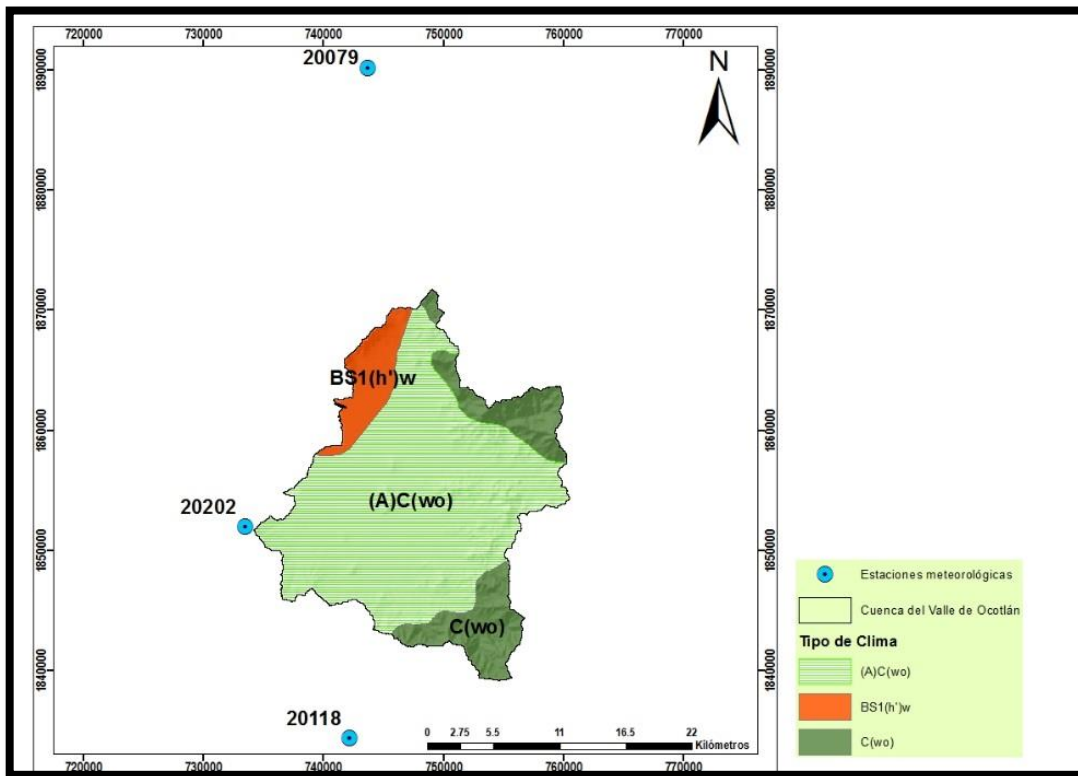


Figura 12. Climas

La estación más representativa de las variables climatológicas es la de Tlapacoyan debido a su cercanía (Figura 12 y 13). La precipitación promedio es de 696.18 mm anuales. La temporada de lluvias abarca los meses de mayo a octubre. Las meses con mayor acumulación de precipitación se presentan en junio y septiembre. Las precipitaciones extremas son ocasionales en los meses de enero y diciembre, sin embargo es común que en los meses de abril y mayo se presenten lluvias intensas. La temperatura promedio anual es de 19° C. La temperatura máxima de 27.6°C y se presentan en los meses de abril y mayo y la temperatura mínima de 10.6°C en los meses de diciembre y enero.

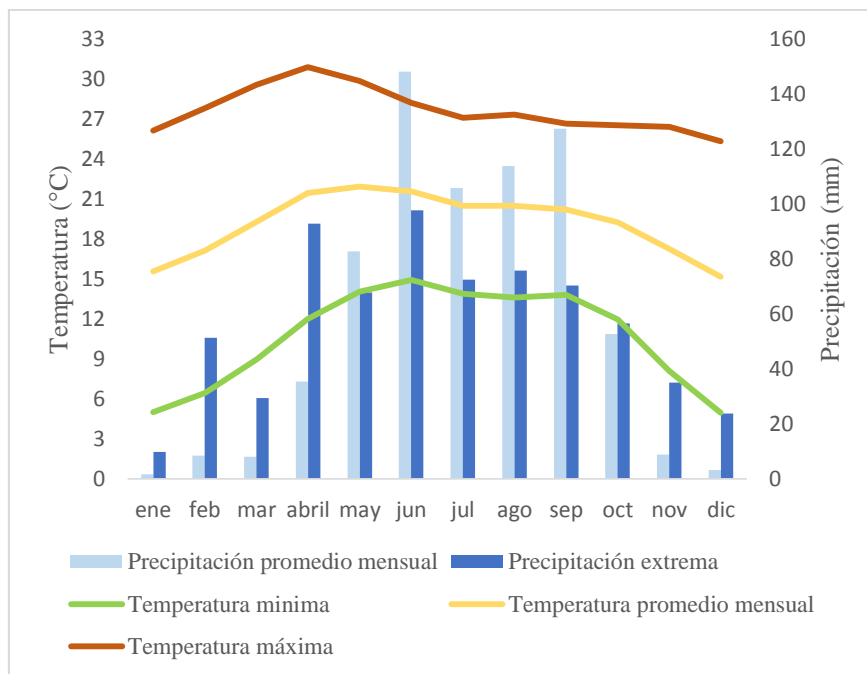


Figura 13. Climograma de la estación de Tlapacoyan

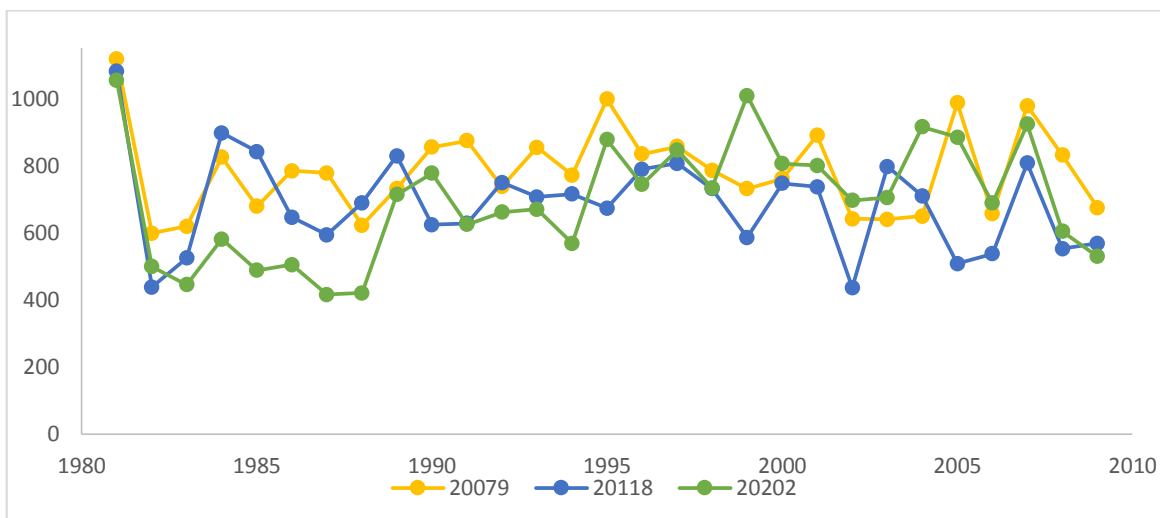


Figura 14. Gráfica de la variación interanual de la precipitación

El coeficiente de variación interanual de la precipitación es de 17% para la estación 20079, 21% para la 20118 y 25% para la 20202 (Figura 14).

Eventos extremos

El fenómeno que más ha provocado declaratoria es la sequía. Los municipios más afectados son los que se encuentran en la parte baja de la cuenca (Tabla 8).

| MUNICIPIO | FECHA DE PUBLICACION | TIPO DE DECLARATORIA | TIPO DE FENOMENO |
|-------------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|
| Magdalena Ocotlán | 14/05/2010 | Contingencia climatológica | Sequia |
| Magdalena Ocotlán | 04/10/2002 | Desastre | Sequia |
| Magdalena Ocotlán | 28/12/2006 | Contingencia climatológica | Sequia |
| Ocotlán De Morelos | 14/01/2011 | Desastre | Inundaciones |
| San Antonino Castillo Velasco | 04/10/2002 | Desastre | Sequia |
| San Dionisio Ocotlán | 04/10/2002 | Desastre | Sequia |
| San José Del Progreso | 11/06/2014 | Emergencia | Lluvias |
| San José del Progreso | 28/12/2006 | Contingencia climatológica | Sequia |
| San José Del Progreso | 14/05/2010 | Contingencia climatológica | Sequia |
| San José del Progreso | 04/10/2002 | Desastre | Sequia |
| San Juan Chilateca | 15/07/2003 | Contingencia climatológica | Fuertes Vientos |
| San Juan Chilateca | 14/05/2010 | Contingencia climatológica | Sequia |
| San Martin Tilcajete | 14/05/2010 | Contingencia climatológica | Sequia |
| San Miguel Tilquiapam | 04/10/2002 | Desastre | Sequia |
| San Pedro Apóstol | 14/05/2010 | Contingencia climatológica | Sequia |
| San Pedro Apóstol | 28/12/2006 | Contingencia climatológica | Sequia |
| San Pedro Apóstol | 04/10/2002 | Desastre | Sequia |
| San Pedro Mártir | 14/05/2010 | Contingencia climatológica | Sequia |
| San Pedro Mártir | 14/01/2011 | Desastre | Inundaciones |
| San Pedro Mártir | 22/04/2003 | Emergencia | Incendios forestales |
| San Pedro Mártir | 22/04/2003 | Desastre | Incendios forestales |
| San Pedro Mártir | 04/10/2002 | Desastre | Sequia |
| Santa Ana Zegache | 04/10/2002 | Desastre | Sequia |
| Santa Ana Zegache | 24/11/2005 | Contingencia climatológica | Sequia |
| Santa Ana Zegache | 14/05/2010 | Contingencia climatológica | Sequia |
| Santa Ana Zegache | 14/09/2011 | Desastre | Lluvias |
| Santa Ana Zegache | 03/10/2011 | Desastre | Lluvias |
| Santa Catarina Minas | 04/10/2002 | Desastre | Sequia |
| Santa Lucia Ocotlán | 04/10/2002 | Desastre | Sequia |
| Santiago Apóstol | 04/10/2002 | Desastre | Sequia |
| Santo Tomas Jalieza | 04/10/2002 | Desastre | Sequia |
| Santo Tomas Jalieza | 14/05/2010 | Contingencia climatológica | Sequia |
| Santo Tomas Jalieza | 24/11/2005 | Contingencia climatológica | Sequia |

Tabla 8. Declaratorias de desastre en los municipios de la cuenca del Valle de Ocotlán

Riesgo por sequía

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) ha desarrollado mapas de riesgo a nivel municipal sobre diversos fenómenos hidrometeorológicos. Los habitantes del valle de Ocotlán comentan que el fenómeno que más les ha afectado en su producción es la sequía. Se utilizó el mapa de riesgo por sequía, el cual considera la densidad poblacional, índice de vulnerabilidad social y el índice de peligro a la sequía.

Hidrología

Los ríos Ocotlán y Lavadero son los principales ríos de la cuenca que se unen en la agencia municipal de Tejas de Morelos, perteneciente al municipio de Ocotlán de Morelos, después de un kilómetro desembocan en el río Atoyac. El río Ocotlán nace en la montaña “del Labrador”, al norte del municipio de San Miguel Tilquiápam, el cual es perenne hasta los límites de lado noreste del municipio de Ocotlán (Figura 15). El río Lavadero nace en la montaña la “Garzona” hacia el sureste de la cuenca, en el municipio de San José del Progreso, es perenne hasta que llega a la cabecera municipal de dicho municipio. La red hidrográfica es de tipo dendrítica y suman una longitud de 851 km. La red fue modificada en la década de 1980 en el Valle de Santa Ana Zegache y San Antonino Castillo Velasco, a través de canales, debido a la inundación de los terrenos. Actualmente se observan los efectos de esta intervención sobre el acuífero, ya que es en esta zona se presentan abatimientos de hasta 30 m.

Los cuerpos de agua que existen en la cuenca son artificiales y se distribuyen hacia los lomeríos y pie de monte. En las cartas topográficas escala 1:50,000 se contabilizaron 37 cuerpos de agua, que en superficie van de un cuarto de hectárea hasta 20 hectáreas (Tabla 9). Estas obras han sido construidas principalmente por las comunidades, como ollas de agua, bordos, represas y presa.

| Municipio | Número de cuerpos de agua | Superficie (Ha) |
|-----------------------|---------------------------|-----------------|
| Magdalena Ocotlán | 1 | 0.35 |
| Ocotlán de Morelos | 12 | 31.39 |
| San Dionisio Ocotlán | 5 | 7.11 |
| San José del Progreso | 3 | 36.03 |
| San Juan Chilateca | 1 | 0.45 |
| San Martín Tilcajete | 2 | 4.19 |
| San Miguel Tilquiápam | 1 | 0.46 |
| Santa Catarina Minas | 4 | 2.06 |
| Santa Lucía Ocotlán | 1 | 8.28 |
| Santo Tomás Jalieza | 2 | 0.94 |

Tabla 9. Cuerpos de agua por municipio

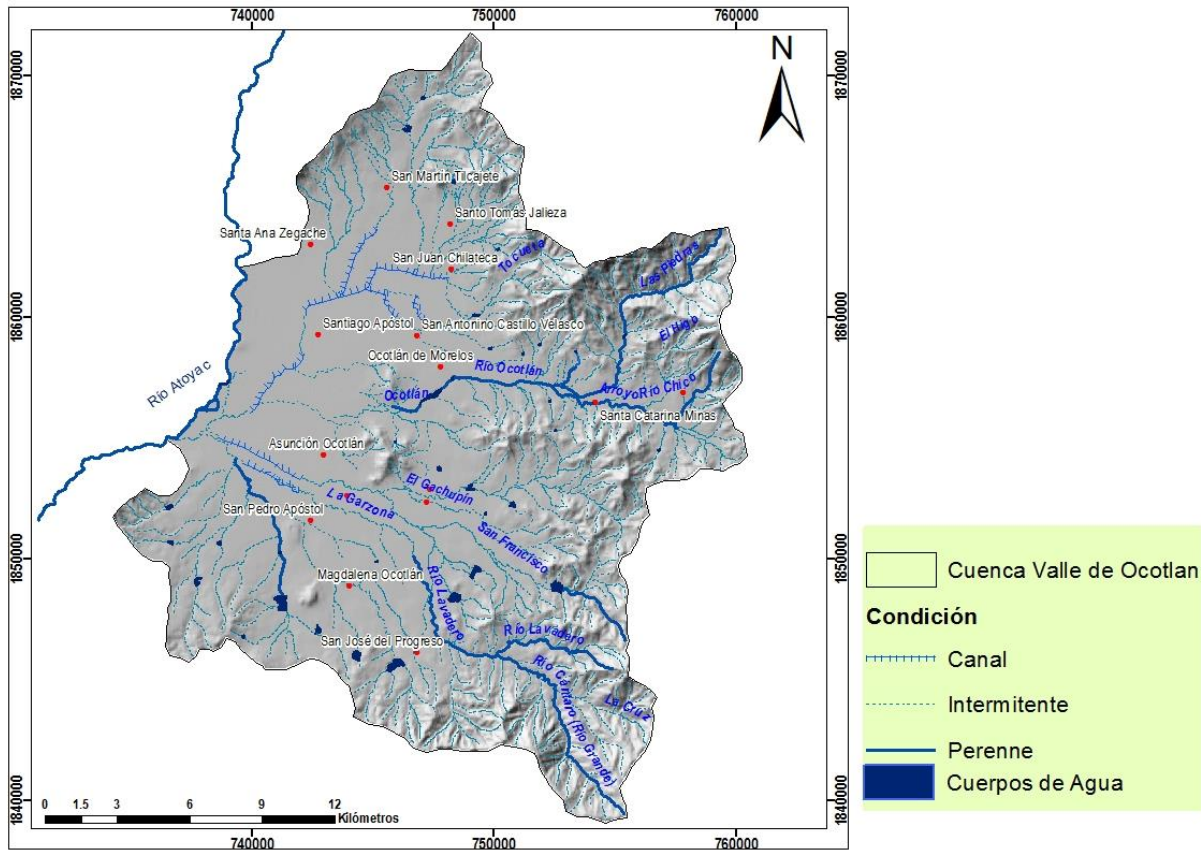


Figura 15. Mapa de Hidrología superficial

Balance hidrológico

El balance se realizó con datos diarios de precipitación para el período del 1981-2009 con el modelo hidrológico SWAT, con el fin de obtener información espacializada a nivel de unidades de respuesta hidrológica y subcuenca, con base en tipo de suelo, uso de suelo y topografía. La ecuación general para el balance es la siguiente:

$$SW_t = SW_0 + \sum(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

dónde SW_t es el contenido final de agua en el suelo (mm H₂O), SW_0 es el contenido inicial de agua del suelo en un día i (mm H₂O), t es el tiempo (días), R_{day} es la cantidad de precipitación en un día i (mm H₂O), Q_{surf} es la cantidad de escorrentía de la superficie en un día i (mm H₂O), E_a es la cantidad de evapotranspiración en día i (mm H₂O), W_{seep} es la cantidad de agua que percola en el perfil del suelo en un día i (mm H₂O), y Q_{gw} es la cantidad de flujo de retorno en un día i (mm H₂O).

El modelo considera la información climatológica de las estaciones más cercanas a la subcuenca. En este caso los valores de la precipitación y temperatura fueron de la estación Tlapacoyan (20202) y Ejutla (20118). El cálculo de la evapotranspiración se hizo por medio del método Hargreaves y el de escorrentía por el número de curva.

En el balance general de la cuenca, la precipitación promedio anual es de 694.7 mm anuales, el 64% se evapora, el 15% escurre de manera sub y superficialmente y 20% se infiltra, sin embargo, de esa porción solo el 30% se recarga al acuífero y el resto sale como flujo de retorno en los arroyos. (Figura 16)

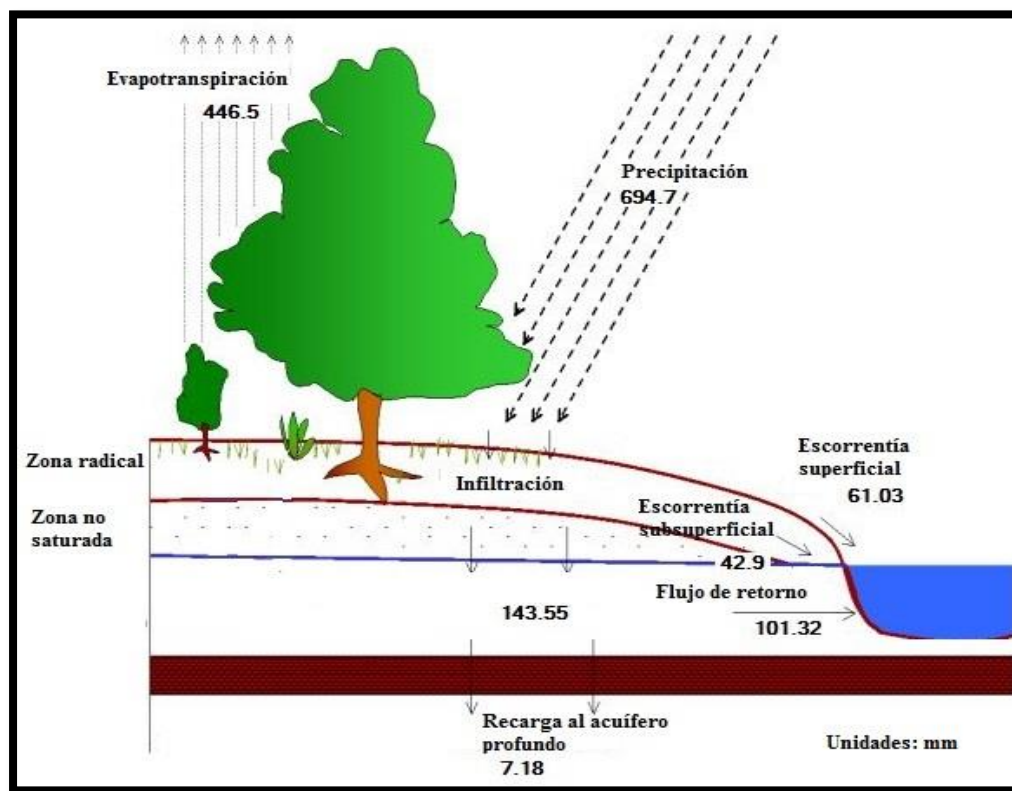


Figura 16. Esquema general del balance hídrico de la cuenca del Valle de Ocotlán

La evapotranspiración es más alta en las zonas de cobertura de vegetación natural y de riego (Figura 17). La escorrentía en las zonas de pendientes mayores a 25° y en las zonas urbanas. La infiltración es mayor en suelos como leptosol, luvisol y regosol y pendientes menores de 10°.

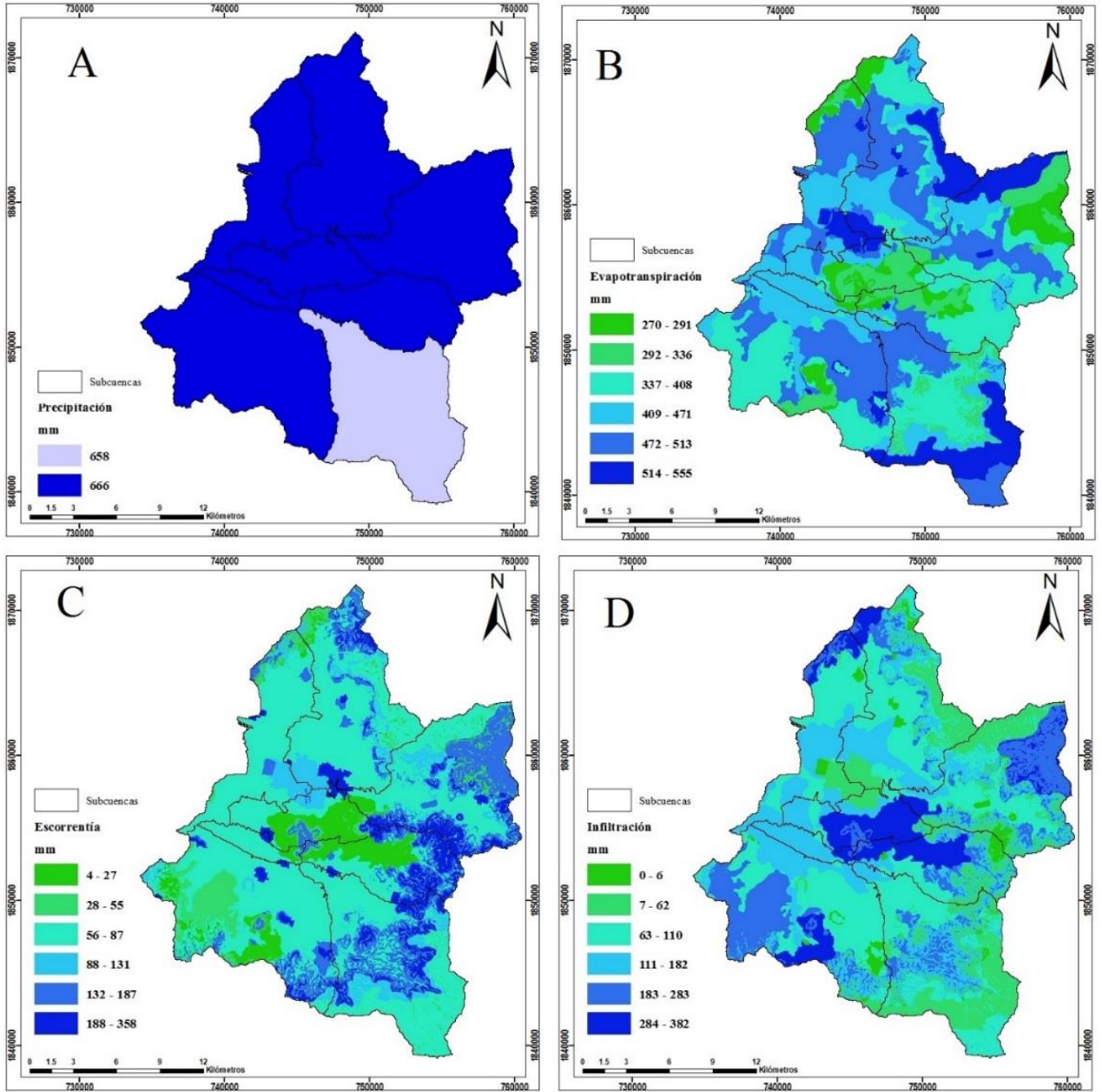


Figura 17. Balance Hídrico: A. Precipitación; B. Evapotranspiración; C. Escorrentía y; D. infiltración.

Disponibilidad de agua

La disponibilidad de agua subterránea se calculó de acuerdo a la Norma NOM-OIL-CONAGUA-2000 a nivel municipal con los valores promedios de infiltración, flujo de retorno y volúmenes concesionados de agua subterránea en cada municipio:

$$\begin{array}{r}
 \text{Disponibilidad} \\
 \text{media anual}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{r}
 \text{Recarga total media} \\
 \text{anual}
 \end{array}
 -
 \begin{array}{r}
 \text{Volumen} \\
 \text{concesionado de} \\
 \text{aguas subterráneas}
 \end{array}
 -
 \begin{array}{r}
 \text{Descarga natural} \\
 \text{comprometida} \\
 \text{(flujo de retorno)}
 \end{array}$$

Los mapas de infiltración y flujo de retorno se discretizaron en celdas de 100 x 100 para poder obtener volúmenes aproximados de agua con base en el área de cada municipio y se obtuvo una lámina de agua en mm del volumen concesionado. Estos mapas se restaron con la herramienta de “*raster calculator*” de ArcGIS 10.1 para obtener el mapa de disponibilidad a nivel municipal (Figura 18)

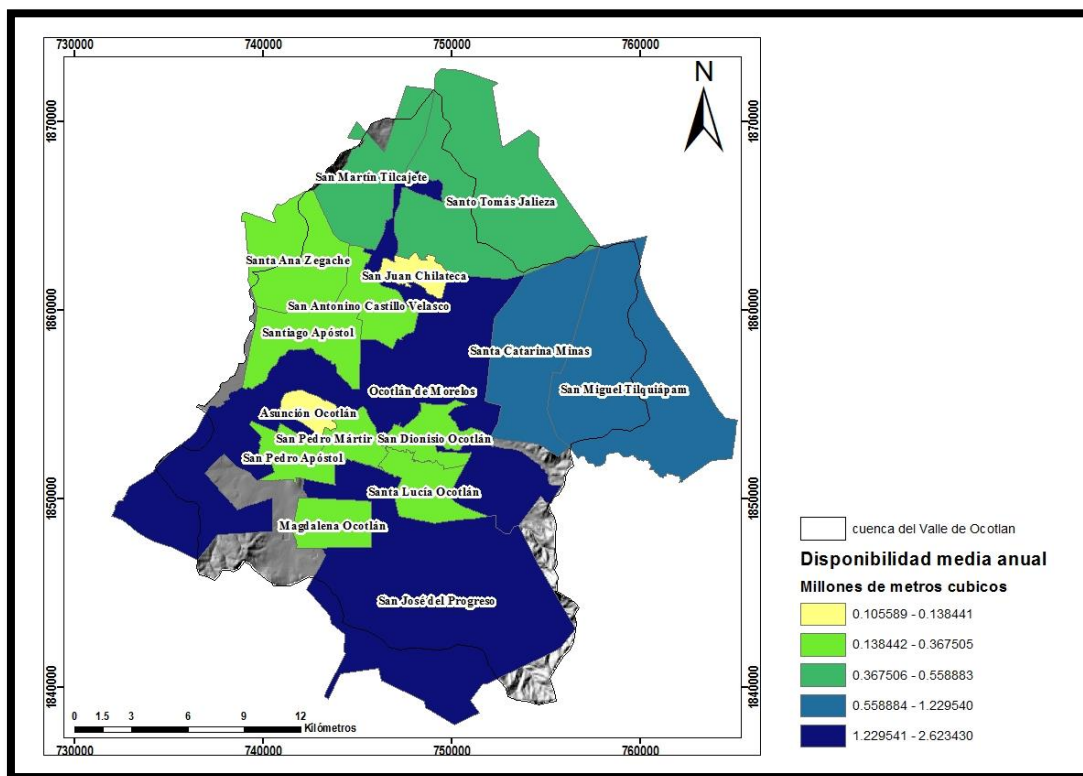


Figura 18. Mapa de disponibilidad de agua media anual

En total para todos los municipios existe una disponibilidad media anual de 10.98 millones de metros cúbicos.

Edafología

En la cuenca se encuentran 5 grupos de suelo de acuerdo con la clasificación de la FAO 1990. Dominan los luvisoles, seguido por regosol, leptosol y phaeozem, suelos constituidos por materiales con texturas predominantemente finas a medias (Figura 18). En la planicie de la cuenca predominan los suelos arcillosos, los cuales se encharcan y dificultan las labores de labranza cuando están secos o muy húmedos. A continuación se presenta las características principales de los suelos de la cuenca (INEGI, 2011).

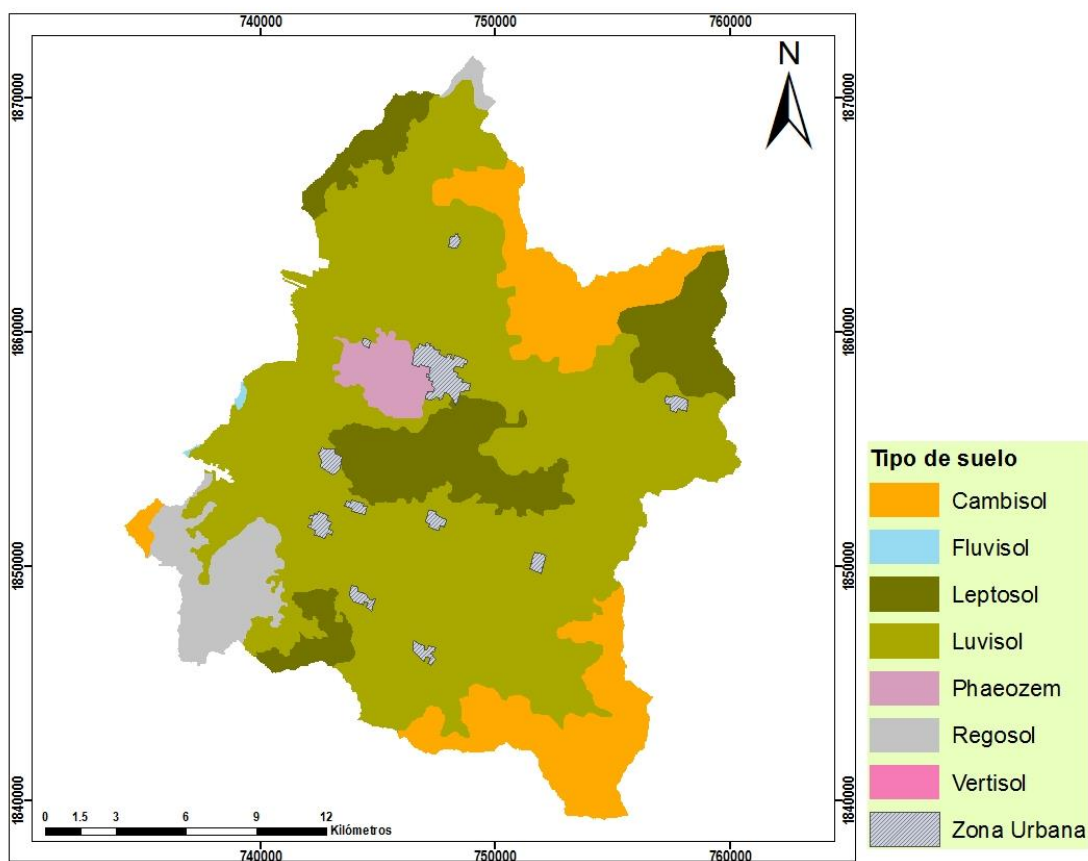


Figura 19. Mapa de suelos

Cambisol Del latín *cambiare*: cambiar. Literalmente, suelo que cambia. Estos suelos son jóvenes, poco desarrollados y se pueden encontrar en cualquier tipo de vegetación o clima excepto en los de zonas áridas. Se caracterizan por presentar en el subsuelo una capa con terrones que presentan vestigios del tipo de roca subyacente y que además puede tener pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, fierro o manganeso. También pertenecen a esta unidad algunos suelos muy delgados que están colocados directamente encima de un tepetate.

Son muy abundantes, se destinan a muchos usos y sus rendimientos son variables pues dependen del clima donde se encuentre el suelo. Son de moderada a alta susceptibilidad a la erosión.

Feozem Del griego phaeo: pardo; y del ruso zemljá: tierra. Literalmente, tierra parda. Suelos que se pueden presentar en cualquier tipo de relieve y clima, excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas muy desérticas. Es el cuarto tipo de suelo más abundante en el país. Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes. Los Feozems son de profundidad muy variable. Cuando son profundos se encuentran generalmente en terrenos planos y se utilizan para la agricultura de riego o temporal, de granos, legumbres u hortalizas, con rendimientos altos. Los Feozems menos profundos, situados en laderas o pendientes, presentan como principal limitante la roca o alguna cementación muy fuerte en el suelo, tienen rendimientos más bajos y se erosionan con más facilidad, sin embargo, pueden utilizarse para el pastoreo o la ganadería con resultados aceptables. El uso óptimo de estos suelos depende en muchas ocasiones de otras características del terreno y sobretodo de la disponibilidad de agua para riego.

Fluvisol. Del latín fluvius: río. Literalmente, suelo de río. Se caracterizan por estar formados de materiales acarreados por agua. Son suelos muy poco desarrollados, medianamente profundos y presentan generalmente estructura débil o suelta. Se encuentran en todos los climas y regiones de México cercanos siempre a lechos de los ríos. Los Fluvisoles presentan capas alternadas de arena con piedras o gravas redondeadas, como efecto de la corriente y crecidas del agua en los ríos. Sus usos y rendimientos dependen de la subunidad de Fluvisol que se trate. Los más apreciados en la agricultura son los Fluvisoles mólicos y calcáricos por tener mayor disponibilidad de nutrientes a las plantas

Leptosol. Del griego leptos, delgado se caracterizan por su escasa profundidad (menor a 25 cm). En algunos casos son excelentes para la producción agrícola, pero en otros puede resultar muy pocos útiles debido a la escasa profundidad, que los vuelve muy áridos y el calcio que contiene que puede llegar a inmovilizar los nutrientes minerales. Se encuentra en los principales sistemas montañosos, donde las pendientes y la consecuente erosión imponen una restricción a la formación del suelo.

Luvisol Del latín luvi, luo: lavar. Literalmente, suelo con acumulación de arcilla. Son suelos que se encuentran en zonas templadas o tropicales lluviosas. La vegetación es generalmente de bosque o selva y se caracterizan por tener un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo.

Son frecuentemente rojos o amarillentos, aunque también presentan tonos pardos, que no llegan a ser oscuros. Se destinan principalmente a la agricultura con rendimientos moderados, son suelos con alta susceptibilidad a la erosión. En México 4 de cada 100 hectáreas está ocupada por Luvisoles.

Regosol Del griego *reghos*: manto, cobija o capa de material suelto que cubre a la roca. Suelos ubicados en muy diversos tipos de clima, vegetación y relieve. Tienen poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen. En México constituyen el segundo tipo de suelo más importante por su extensión (19.2%). Muchas veces están asociados con Litosoles y con afloramientos de roca o tepetate. Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad.

Vertisol Del latín *vertere*, voltear. Literalmente, suelo que se revuelve o que se voltea. Suelos de climas templados y cálidos, especialmente de zonas con una marcada estación seca y otra lluviosa. La vegetación natural va de selvas bajas a pastizales y matorrales. Se caracterizan por su estructura masiva y su alto contenido de arcilla, la cual es expandible en húmedo formando superficies de deslizamiento llamadas facetas y que por ser colapsables en seco pueden formar grietas en la superficie o a determinada profundidad. Su uso agrícola es muy extenso, variado y productivo. Son muy fértiles pero su dureza dificulta la labranza. En estos suelos se produce la mayor parte de caña, cereales, hortalizas y algodón. Tienen baja susceptibilidad a la erosión y alto riesgo de salinización.

Erosión

Debido a la naturaleza de los suelos en la cuenca del Valle de Ocotlán que son susceptibles, se evaluó la erosión mediante la ecuación universal modificada de la pérdida de suelo (MUSLE) incluido en el modelo SWAT:

$$sed = 11.8 \cdot (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{HRU})^{0.56} \cdot K_{usle} \cdot C_{usle} \cdot P_{usle} \cdot LS_{usle} \cdot CFRG$$

dónde *sed* es la producción de sedimento en un día dado (toneladas métricas), *Q_{surf}* es el volumen de superficie de escorrentías (*mm H₂O/ha*), *q_{peak}* es la escorrentía máxima (*m³/s*), *area_{HRU}* es el área del *HRU* (*ha*), *K_{usle}* es el factor de erosibilidad del suelo (*0,013 tonelada métrica m² hr/ (m³-ton métrica cm)*), *C_{usle}* es el factor de cobertura y gestión de *USLE*, *P_{usle}* es el factor de la práctica de apoyo de *USLE*, *LS_{usle}* es el *USLE* factor topográfico y *CFRG* es el factor de fragmento macro.

Los valores más altos de erosión se presentan en las partes medias y altas de la cuenca, en cambisoles y luvisoles, con coberturas de agricultura de temporal (Figura 20).

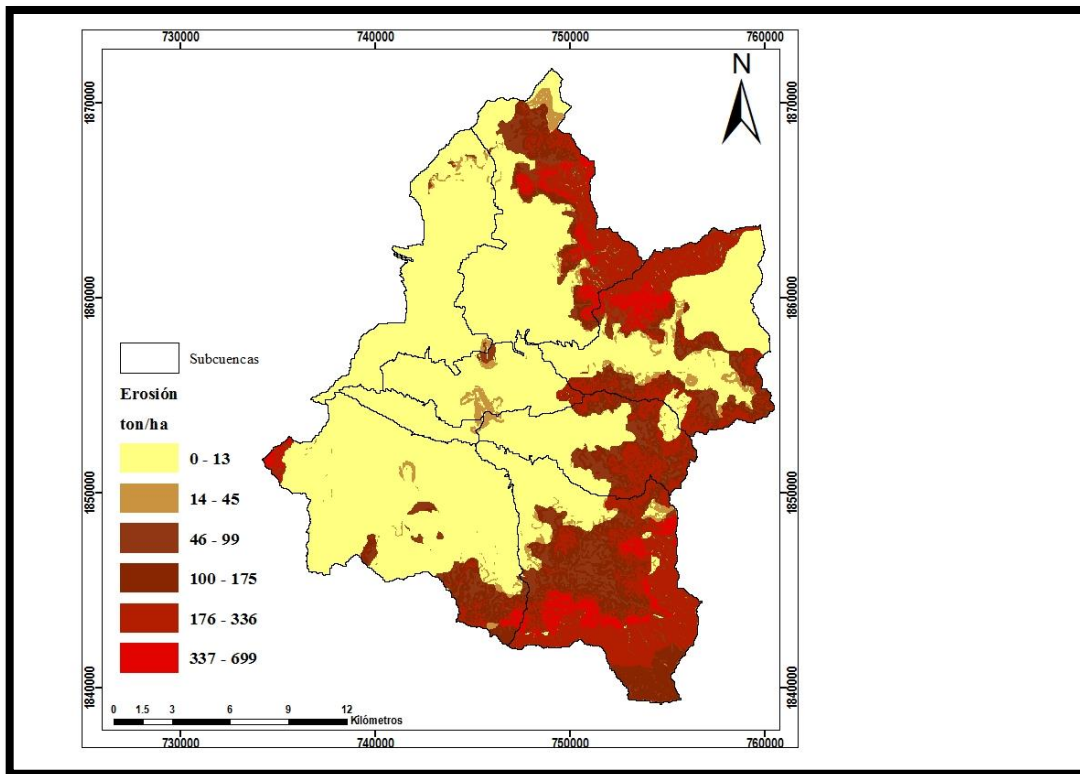


Figura 20. Mapa de Erosión MUSLE

Uso de suelo y vegetación

Las coberturas de uso de suelo y vegetación se obtuvieron mediante clasificación supervisada con una imagen Landsat 8, sensor OLI-TIRS del mes de mayo del 2014 a la que se le aplicó corrección radiométrica y topográfica. Se manejaron cinco clases: cuerpos de agua, agricultura de riego, de temporal y vegetación natural. Como se observa en la tabla, la cobertura que domina es la agricultura de temporal. La vegetación natural solo se conserva en la parte de la montaña en los municipios de San Miguel Tilquiápam y San José del Progreso (Figura 21 y Tabla 10).

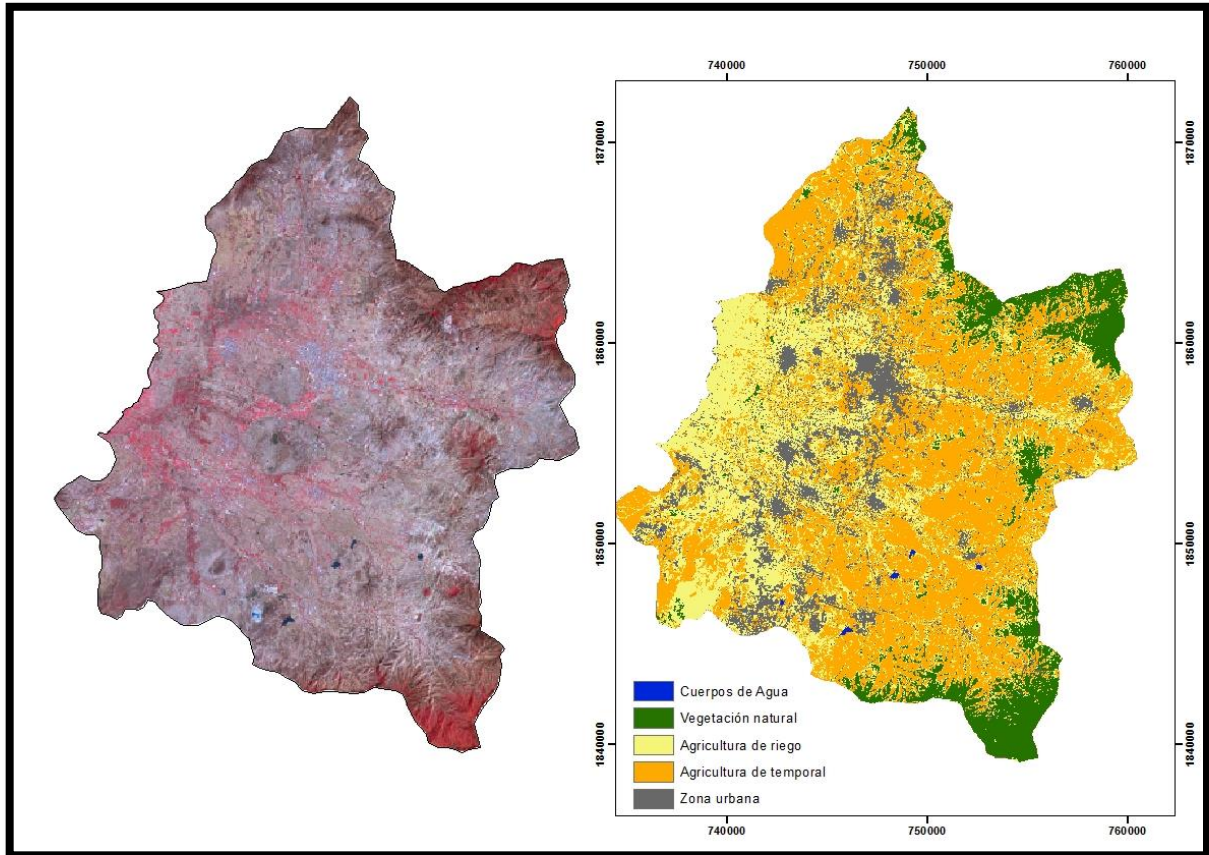


Figura 21. Mapa de cobertura de vegetación

| Municipio | Vegetación | Agricultura de riego | Agricultura de temporal | Zona urbana |
|-------------------------------|------------|----------------------|-------------------------|-------------|
| Asunción Ocotlán | 2% | 54% | 13% | 32% |
| Magdalena Ocotlán | 0% | 40% | 41% | 18% |
| Ocotlán de Morelos | 3% | 31% | 49% | 16% |
| San Antonino Castillo Velasco | 0% | 48% | 23% | 29% |
| San Dionisio Ocotlán | 1% | 24% | 65% | 10% |
| San José del Progreso | 17% | 19% | 57% | 7% |
| San Juan Chilateca | 3% | 28% | 46% | 24% |
| San Martín Tilcajete | 5% | 20% | 66% | 9% |
| San Miguel Tilquiápam | 27% | 21% | 47% | 4% |
| San Pedro Apóstol | 0% | 50% | 19% | 31% |
| San Pedro Mártir | 2% | 39% | 32% | 28% |
| Santa Ana Zegache | 2% | 37% | 52% | 9% |
| Santa Catarina Minas | 19% | 19% | 56% | 5% |
| Santa Lucía Ocotlán | 0% | 29% | 60% | 11% |
| Santiago Apóstol | 0% | 66% | 19% | 15% |
| Santo Tomás Jalieza | 23% | 23% | 40% | 14% |

Tabla 10. Porcentaje de cobertura de suelo a nivel municipal

Población

La población total del Valle de Ocotlán es de 62, 570 de habitantes (INEGI, 2010). El municipio más grande y con más población es el de Ocotlán de Morelos, cabecera del distrito, con 105.73 km² y 21,341 habitantes, lo que corresponde a la tercera parte de la población de la cuenca (Tabla 11). Le siguen los municipios de San José del Progreso, San Antonino Castillo Velasco y Santiago Apóstol. Los municipios de Asunción Ocotlán, San Miguel Tilquiápam y San Pedro Martí tienen tasas negativas de crecimiento y los municipios de San Antonino Castillo Velasco y Santo Tomas Jalieza tasas de crecimiento superior al 3% anual.

La población indígena del valle de Ocotlán pertenece a la cultura zapoteca, con 24,071 habitantes, lo que representa el 37% de la cuenca. Los municipios con mayor presencia de población indígena son Asunción Ocotlán, Santa Lucía Ocotlán, Santiago Apóstol y San Miguel Tilquiápam (Tabla 11).

| Municipio | Población 2000 | Población 2005 | Población 2010 | T.C.M.A. | Densidad Poblacional (hab/km ²) | Población indígena |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|---|-----------------------|
| Asunción Ocotlán | 3,655 | 3,257 | 2,612 | -4.63% | 675.9 | 94% |
| San Miguel Tilquiápam | 3,160 | 3,442 | 3,160 | -1.82% | 101.4 | 38% |
| San Pedro Mártir | 1,903 | 1,781 | 1,711 | -0.86% | 180.5 | 8% |
| Santa Lucía Ocotlán | 3,455 | 3,580 | 3,604 | 0.14% | 551.6 | 39% |
| San Pedro Apóstol | 1,471 | 1,511 | 1,544 | 0.47% | 123.9 | 10% |
| San José del Progreso | 5,661 | 6,164 | 6,579 | 1.41% | 60.6 | 21% |
| San Martín Tilcayote | 1,776 | 1,631 | 1,742 | 1.43% | 298.3 | 2% |
| Santa Catarina Minas | 1,604 | 1,698 | 1,816 | 1.45% | 104.6 | 2% |
| Magdalena Ocotlán | 1,029 | 1,060 | 1,141 | 1.60% | 44.4 | 100% |
| Ocotlán de Morelos | 18,183 | 19,581 | 21,341 | 1.87% | 150.3 | 7% |
| San Juan Chilateca | 1,338 | 1,323 | 1,442 | 1.87% | 199.1 | 88% |
| Santiago Apóstol | 4,636 | 3,825 | 4,220 | 2.13% | 135.7 | 56% |
| Santa Ana Zegache | 3,415 | 3,196 | 3,592 | 2.54% | 47.9 | 3% |
| San Dionisio Ocotlán | 1,043 | 1,093 | 1,245 | 2.84% | 308.6 | 96% |
| San Antonino Castillo Velasco | 4,809 | 4,829 | 5,651 | 3.44% | 232.4 | 96% |
| Santo Tomás Jalieza | 3,095 | 2,885 | 3,385 | 3.49% | 52.7 | 38% |

Tabla 11. Población en el periodo de 2000-2010.

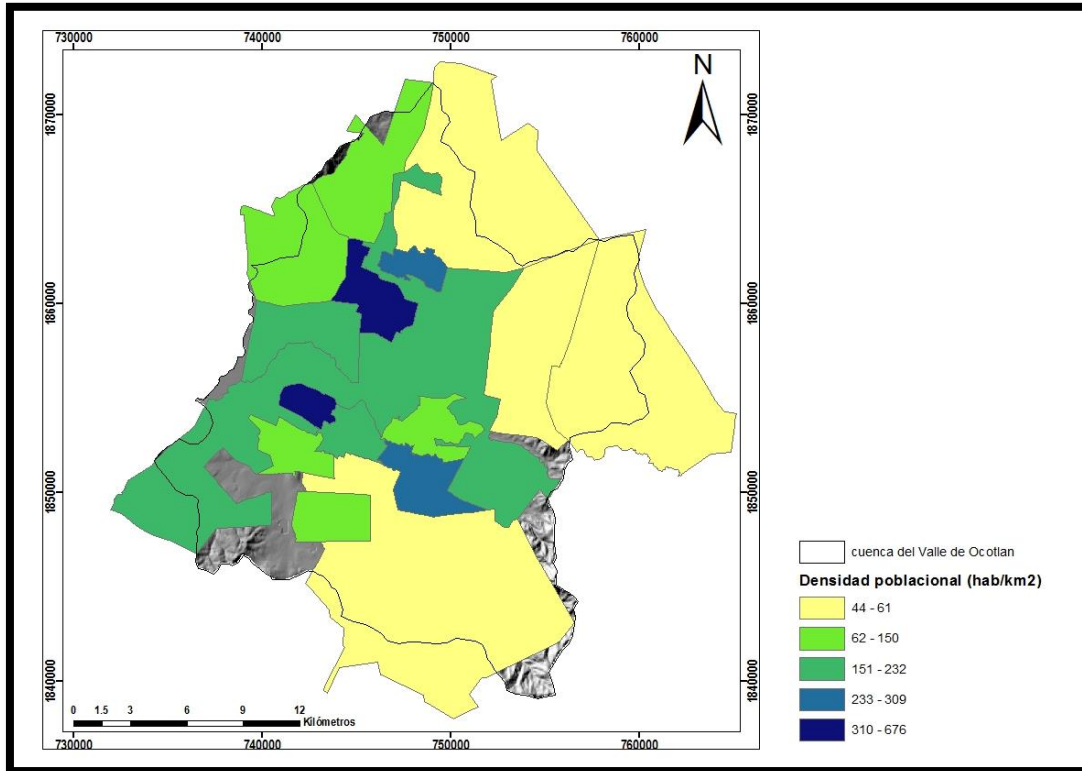


Figura 22. Mapa de densidad poblacional

Existen los tres tipos de tenencia de tierra: ejidal, comunal y propiedad privada. De acuerdo a la información del RAN, el tipo de tenencia que predomina es ejidal, sin embargo, en los planes municipales se reportan otras superficies (PHINA, 2012). Estas diferencias se deben principalmente a litigios agrarios y que algunas comunidades no se han registrado ni en PROCEDE ni FANAR ya que consideran que afectan en la organización de su comunidad (Figura 23).

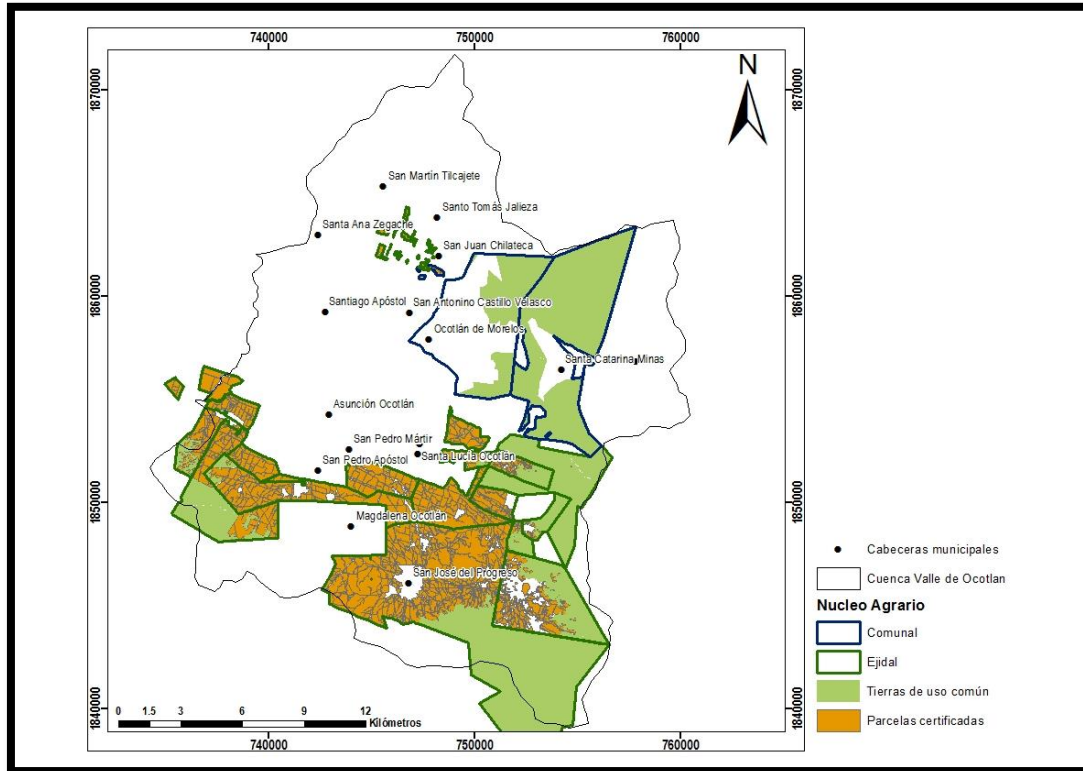


Figura 23. Propiedad social

Marginación

El Consejo Nacional de Población define la marginación como: “un fenómeno multidimensional y estructural originado, en última instancia, por el modelo de producción económica expresado en la desigual distribución del progreso, en la estructura productiva y en la exclusión de diversos grupos sociales, tanto del proceso como de los beneficios del desarrollo. En consecuencia, las comunidades marginadas enfrentan escenarios de elevada vulnerabilidad social cuya mitigación escapa del control personal o familiar.

El índice de marginación considera cuatro dimensiones estructurales de la marginación: educación, vivienda, distribución de población e ingresos por trabajo (CONAPO, 2010). Está constituido por nueve indicadores que miden la intensidad de la exclusión:

- % Población analfabeta de 15 años más
- % Población sin primaria completa de 15 años o más
- % Ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario
- % Ocupantes en viviendas sin energía eléctrica
- % Ocupantes en viviendas sin agua entubada

- % Viviendas con algún nivel de hacinamiento
- % Ocupantes en viviendas con piso de tierra
- % Población en localidades con menos de 5000 habitantes
- % Población ocupada con ingreso de hasta 2 salarios mínimos

Once de los municipios tienen un grado de marginación de alto a muy alto. El municipio con menor grado de marginación es San Juan Chilateca y los valores medios corresponden a los municipios de Ocotlán de Morelos, San Martín Tilcajete y Santa Catarina Minas (Tabla 12).

| Municipio | Población total | % Población de 15 años o más analfabeta | % Población de 15 años o más sin primaria completa | % Ocupantes en viviendas sin drenaje ni excusado | % Ocupantes en viviendas sin energía eléctrica | % Ocupantes en viviendas sin agua entubada | % Viviendas con algún nivel de hacinamiento | % Ocupantes en viviendas con piso de tierra | % Población en localidades con menos de 5 000 habitantes | % Población ocupada con ingresos de hasta 2 salarios mínimos | Índice de marginación | Grado de marginación | Índice de marginación escala 0 a 100 | Lugar que ocupa en el contexto nacional |
|-------------------------------|-----------------|---|--|--|--|--|---|---|--|--|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|---|
| Asunción Ocotlán | 2 612 | 34.95 | 64.90 | 5.86 | 1.45 | 18.91 | 39.49 | 39.17 | 100.00 | 92.87 | 1.52675 | Muy alto | 44.924 | 177 |
| Magdalena Ocotlán | 1 141 | 10.19 | 34.79 | 2.37 | 0.79 | 21.40 | 46.28 | 49.34 | 100.00 | 60.90 | 0.45310 | Alto | 32.792 | 793 |
| Ocotlán de Morelos | 21 341 | 10.44 | 26.81 | 2.75 | 2.55 | 50.61 | 44.87 | 27.32 | 29.64 | 42.65 | -0.17130 | Medio | 25.737 | 1 347 |
| San José del Progreso | 6 579 | 18.49 | 39.93 | 5.86 | 2.79 | 73.19 | 54.11 | 28.43 | 100.00 | 50.62 | 0.88014 | Alto | 37.618 | 481 |
| San Antonino Castillo Velasco | 5 651 | 11.49 | 34.00 | 1.27 | 0.91 | 90.42 | 47.70 | 46.13 | 5.26 | 67.00 | 0.60213 | Alto | 34.476 | 672 |
| San Dionisio Ocotlán | 1 245 | 8.15 | 27.94 | 1.77 | 2.09 | 43.29 | 43.51 | 21.37 | 100.00 | 44.53 | -0.06064 | Medio | 26.987 | 1 247 |
| San Juan Chilateca | 1 442 | 3.86 | 18.76 | 0.42 | 0.21 | 25.73 | 24.13 | 6.80 | 100.00 | 48.63 | -0.85237 | Bajo | 18.041 | 1 914 |
| San Martín Tilcajete | 1 742 | 6.74 | 28.62 | 2.42 | 1.91 | 22.69 | 38.79 | 19.61 | 100.00 | 47.44 | -0.27657 | Medio | 24.547 | 1 438 |
| San Miguel Tilquápam | 3 160 | 39.78 | 68.91 | 19.56 | 2.24 | 8.66 | 65.45 | 31.27 | 100.00 | 79.85 | 1.87731 | Muy alto | 48.885 | 82 |
| San Pedro Apóstol | 1 544 | 15.00 | 40.36 | 0.92 | 1.78 | 99.74 | 35.73 | 41.39 | 100.00 | 63.90 | 0.99170 | Muy alto | 38.878 | 409 |
| San Pedro Mártir | 1 711 | 18.20 | 45.33 | 7.55 | 1.14 | 97.89 | 45.02 | 77.39 | 100.00 | 87.57 | 1.97670 | Muy alto | 50.008 | 60 |
| Santa Ana Zegache | 3 592 | 18.10 | 37.21 | 2.95 | 2.13 | 30.31 | 45.52 | 43.50 | 100.00 | 76.46 | 0.81181 | Alto | 36.846 | 521 |
| Santa Catarina Minas | 1 816 | 15.40 | 39.43 | 4.02 | 1.21 | 30.40 | 46.19 | 19.11 | 100.00 | 65.17 | 0.37556 | Medio | 31.916 | 865 |
| Santa Lucía Ocotlán | 3 604 | 23.17 | 49.48 | 1.78 | 0.95 | 19.00 | 55.74 | 28.03 | 100.00 | 55.06 | 0.70662 | Alto | 35.657 | 590 |
| Santiago Apóstol | 4 220 | 26.70 | 53.96 | 3.54 | 3.02 | 8.90 | 48.05 | 54.26 | 100.00 | 83.12 | 1.33836 | Muy alto | 42.795 | 243 |
| Santo Tomás Jalieza | 3 385 | 15.48 | 34.33 | 3.58 | 2.25 | 71.74 | 55.27 | 14.03 | 100.00 | 81.50 | 0.82119 | Alto | 36.952 | 514 |

Tabla 12. Indicadores e índice de marginación

Mortalidad infantil

La tasa de mortalidad en el primer año de vida se ha considerado tradicionalmente un fiel indicador de las condiciones de bienestar de la población. Conforme menor es el riesgo de fallecer al inicio de la vida, mayor es el nivel de bienestar. Esta relación estrecha deriva del hecho que, durante las primeras edades, la salud del niño es muy vulnerable a la acción de factores patológicos de la madre y del medio ambiente que rodea al individuo, los cuales se palian o agudizan de acuerdo con el nivel social y cultural de la familia. Si los recursos materiales y sanitarios son suficientes, y el nivel educativo de los padres permite sacarles provecho adecuadamente, la fragilidad del recién nacido y, por ende, el riesgo de morir disminuyen frente a la situación de ausencia de tales recursos, o si bien son suficientes, el mal uso de ellos puede debilitar seriamente al infante hasta causarle la muerte.

La mortalidad infantil en el valle de Ocotlán va de 13 a 22, es decir, que de cada mil niños que nace en el primer año mueren de 13 a 22 bebés. El municipio con la menor mortalidad infantil es San Pedro Apóstol y la mayor mortalidad se presenta en el municipio de Santa Lucía Ocotlán (tabla 13). La tasa promedio a nivel nacional es de 14 (Coneval, 2010). Este indicador puede mostrar de manera indirecta aspectos de calidad de agua, que inciden en la salud.

| Municipio | Mortalidad infantil |
|-------------------------------|---------------------|
| San Pedro Apóstol | 13.8 |
| San Juan Chilateca | 14.4 |
| Santa Catarina Minas | 15.0 |
| Santo Tomás Jalieza | 15.1 |
| Ocotlán de Morelos | 15.3 |
| San José del Progreso | 16.1 |
| San Dionisio Ocotlán | 17.0 |
| San Martín Tilcajete | 17.1 |
| Asunción Ocotlán | 17.8 |
| San Pedro Mártir | 18.0 |
| San Miguel Tilquiápam | 18.6 |
| San Antonino Castillo Velasco | 18.8 |
| Santa Ana Zegache | 19.7 |
| Magdalena Ocotlán | 22.2 |
| Santiago Apóstol | 22.3 |
| Santa Lucía Ocotlán | 24.0 |

Tabla 13. Tasa de mortalidad infantil por municipio

Acceso al agua

Los datos del Censo 2010 reflejan que el acceso al agua entubada dentro de la vivienda para los municipios del valle de Ocotlán es muy variable entre los municipios. San Pedro Apóstol y San Pedro Mártir tiene valores de cero y los municipios con mayor acceso al agua entubada son San Miguel Tilquiápam y Santa Lucía Ocotlán con 87 y 81% respectivamente (Tabla 14). La variabilidad de estos datos también se ven dentro de los mismos municipios en los censos y conteos desde 1995. Esto puede responder a diversas causas. Primero el acceso al agua entubada no garantiza que reciban el servicio, solo se refiere a la existencia de la infraestructura. Segundo, en varias comunidades la fuente de abastecimiento es a través de pozos domésticos. El hecho de que existan disminuciones en el porcentaje de acceso al agua puede deberse a que las nuevas viviendas para ese año todavía no cuentan con el servicio, es decir, existe una falta de planeación territorial: primero llegan las casas y luego los servicios.

| Municipio | Viviendas que disponen de agua de la red pública | | | | Demanda de agua anual por habitante (m ³) |
|-------------------------------|--|------|------|------|---|
| | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | |
| Asunción Ocotlán | 24% | 41% | 60% | 43% | 143,007 |
| Magdalena Ocotlán | 0% | 51% | 62% | 78% | 62,470 |
| Ocotlán de Morelos | 56% | 49% | 45% | 41% | 1,168,420 |
| San Antonino Castillo Velasco | 49% | 51% | 33% | 9% | 309,392 |
| San Dionisio Ocotlán | 52% | 45% | 64% | 45% | 68,164 |
| San José del Progreso | 23% | 21% | 25% | 12% | 360,200 |
| San Juan Chilateca | 75% | 69% | 79% | 54% | 78,950 |
| San Martín Tilcajete | 69% | 61% | 82% | 52% | 95,375 |
| San Miguel Tilquiápam | 82% | 76% | 87% | 87% | 173,010 |
| San Pedro Apóstol | 4% | 3% | 0% | 0% | 84,534 |
| San Pedro Mártir | 0% | 3% | 0% | 0% | 93,677 |
| Santa Ana Zegache | 0% | 22% | 51% | 57% | 196,662 |
| Santa Catarina Minas | 66% | 35% | 62% | 71% | 99,426 |
| Santa Lucía Ocotlán | 0% | 0% | 1% | 81% | 197,319 |
| Santiago Apóstol | 92% | 67% | 96% | 54% | 231,045 |
| Santo Tomás Jalieza | 29% | 35% | 33% | 8% | 185,329 |

Tabla 14. Acceso y demanda de agua por municipio

Uso del agua

Los datos de uso de agua se obtuvieron del Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) disponibles en el sistema de consulta en línea. Al igual que los datos del censo, esta información tiene varios sesgos que limitan el análisis, por ejemplo, hay concesiones que en su título incluyen varios pozos, las concesiones está a nombre de uno o más titulares o un solo titular tiene varias concesiones. En algunos casos, las coordenadas del pozo no corresponden al municipio, debido a un error en la captura de información. Como se vio anteriormente, los derechos del agua, a través de las concesiones, provocaron un conflicto entre las comunidades y la Conagua, y no todos los usuarios están registrados y no existe una estimación sobre cuantos usuarios no están registrados. Además, el único criterio para la asignación de volúmenes es el tamaño del terreno donde está el pozo. Como tal el volumen no se miden y el consumo de agua se estima a partir del consumo de energía eléctrica, sin criterios bien definidos (Pérez et al., 2010). Sin embargo, se presentan los datos del REPDa ya que dan luz sobre cómo es la proporción del uso de agua entre los municipios.

Son dos las fuentes principales de agua: superficiales y subterráneas, (Figura 24). El volumen total concesionado es de 11.40 millones de metros cúbicos. En el valle, la principal fuente de abastecimiento es agua subterránea, mientras que en los municipios en zonas más altas, la fuente superficial es la más importante.

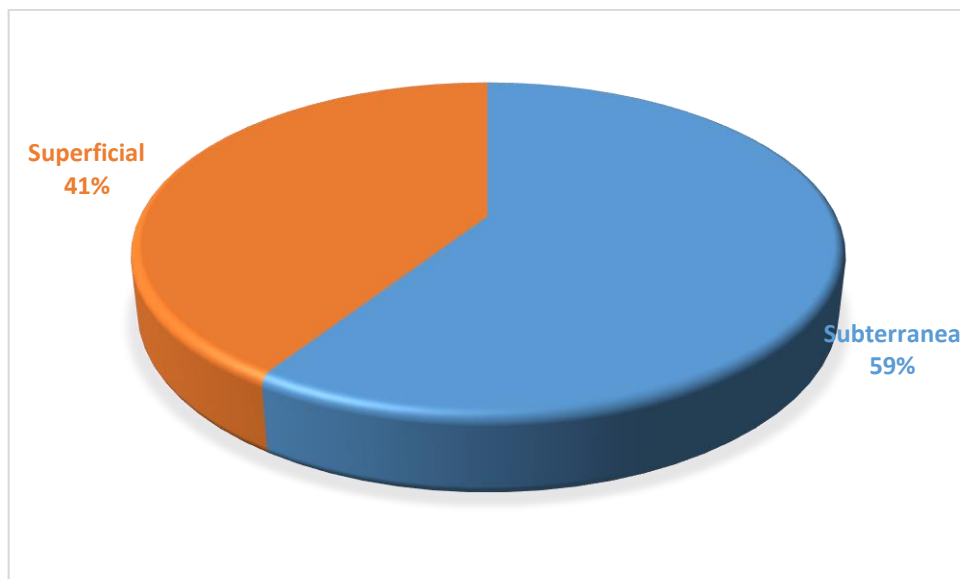


Figura 24. Fuentes de abastecimiento de agua en la cuenca del Valle de Ocotlán

Los principales usos son para la agricultura y uso público urbano, 76% y 22.5% respectivamente (Tabla 15).

| Uso | Fuente de abastecimiento | Volumen m ³ | Porcentaje |
|-------------------|--------------------------|------------------------|------------|
| Agrícola | Subterránea | 4,443,062 | 65.82% |
| | Superficial | 4,229,879 | 90.81% |
| Doméstico | Subterránea | 34,417 | 0.51% |
| Industrial | Subterránea | 5,107 | 0.08% |
| Múltiple | Subterránea | 16,930 | 0.25% |
| Pecuario | Subterránea | 1,445 | 0.02% |
| | Superficial | 108,157 | 2.32% |
| Público urbano | Subterránea | 2,249,061 | 33.32% |
| | Superficial | 319,891 | 6.87% |
| Servicios | Subterránea | 80 | 0.001% |
| Total subterránea | | 6,750,102 | |
| Total superficial | | 4,657,927 | |
| Total general | | 11,408,029 | |

Tabla 15. Usos del Agua por fuente de abastecimiento a nivel cuenca

Los municipios con mayores volúmenes concesionados son Ocotlán de Morelos con 37% del total y San José del Progreso con 21% (Figura 25).

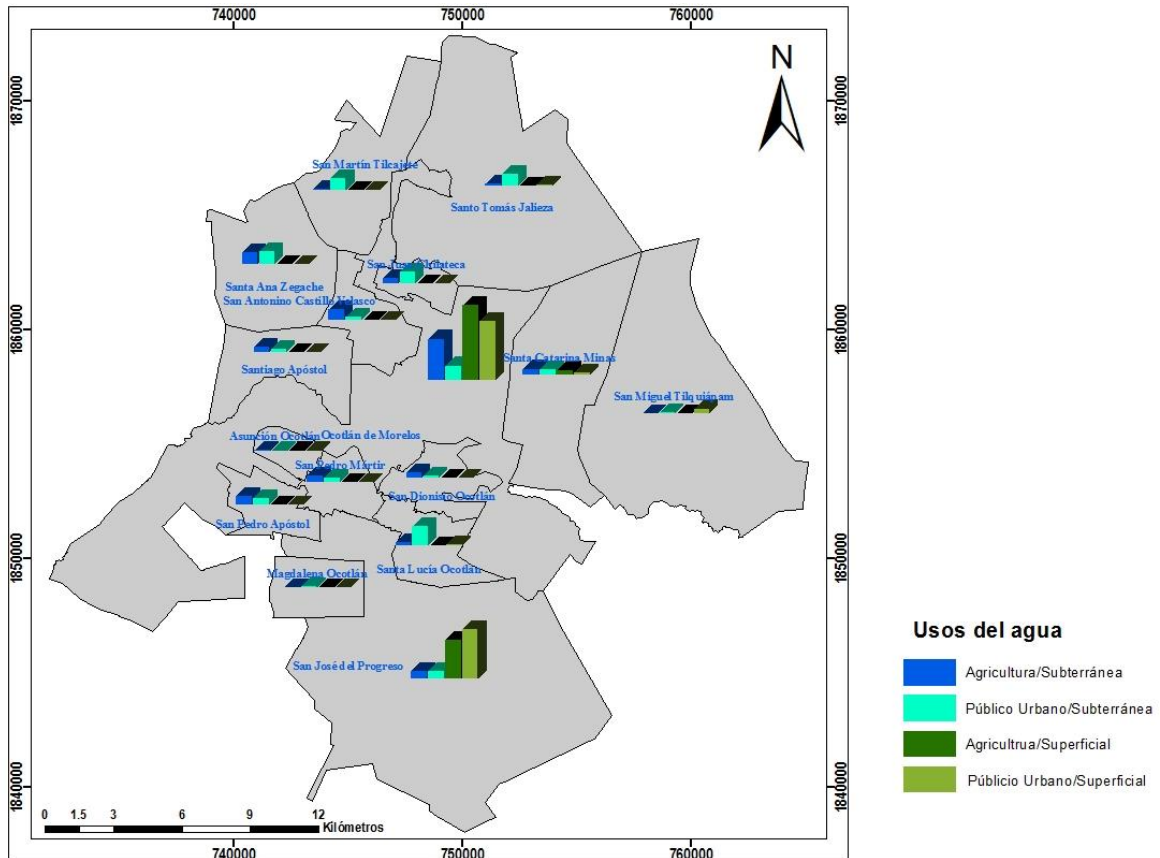


Figura 25 Mapa del porcentaje de uso de agua en la agricultura y el uso público urbano

Actividades económicas

El Valle de Ocotlán es principalmente agrícola. Se caracteriza por ser de pequeñas parcelas, menores de 2 ha y en general mantiene técnicas tradicionales de riego, como el rodado. El mercado y los días de tianguis son la base económica y la comunicación entre las poblaciones del valle y un punto de conexión con la región de la Sierra Sur.

Los predios se riegan por medio de pequeñas bombas. Los cultivos principales son frijol, ejotero, rábano, cilantro, col, cebolla y en menor escala chile, calabacita, pepino, lechuga, jitomate y tomate; entre las ornamentales flores como la “cresta de gallo”, “atermisia”, “nube”, crisantemo, rosa y gladiola. El manejo de los aluviones muestra una intensa y continua adaptación ecológica de los sistemas agrícolas. A mayor extensión prevalece: a) roturación con maquinaria; b) riego con bombas; c) uso de semillas mejoradas; d) deshierbes mecanizados; e) cultivo de productos comerciales, maíz, hortalizas y flores. A menor extensión predomina: a) preparación del terreno con pala azadón o erado egipcio jalado por bovinos; b) siembra y deshierbe a mano, con herramientas simples; semillas de variedades regionales o mejoradas; d) gran aprecio de

arvenses para consumo humano, productos medicinales o forraje y e) uso de estiércol (Hernández, 1988).

La agricultura de temporal ocupa un lugar importante en el valle, pero básicamente es para subsistencia, mientras que la agricultura de riego es la principal fuente de ingresos, patrón que se corresponden a nivel nacional, ya que la segunda proporciona hasta el 300% de productividad (\$/ha) (Ojeda, 2013)

La última información sobre la actividad económica de los municipios del valle de Ocotlán es del censo del 2000 (Tabla 16). La mayoría de la población se ocupa en la agricultura, sin embargo, el comercio de artesanías y servicios van en aumento. También la población subsiste de las remesas y trabajan en el sector terciario en la ciudad de Oaxaca.

| Municipio | Población en el sector primario | Población en el sector secundario | Población en el sector terciario |
|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Asunción Ocotlán | 85% | 8% | 5% |
| Magdalena Ocotlán | 31% | 32% | 32% |
| Ocotlán de Morelos | 23% | 28% | 45% |
| San José del Progreso | 45% | 38% | 15% |
| San Antonino Castillo Velasco | 40% | 12% | 46% |
| San Dionisio Ocotlán | 28% | 33% | 35% |
| San Juan Chilateca | 38% | 17% | 45% |
| San Martín Tilcajete | 37% | 47% | 15% |
| San Miguel Tilquiápam | 56% | 28% | 11% |
| San Pedro Apóstol | 45% | 15% | 35% |
| San Pedro Mártir | 77% | 9% | 13% |
| Santa Ana Zegache | 78% | 7% | 14% |
| Santa Catarina Minas | 49% | 22% | 21% |
| Santa Lucía Ocotlán | 48% | 39% | 11% |
| Santiago Apóstol | 62% | 22% | 14% |
| Santo Tomás Jalieza | 31% | 47% | 22% |

Tabla 16. Porcentajes en los sectores económicos por municipio

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera reporta la superficie sembrada, cosechada, la producción en toneladas y el valor de producción en superficies de riego por cada municipio. En el periodo del 2005-2010, el promedio de superficie sembrada para la cuenca del valle de Ocotlán fue de 1410 ha con un valor de producción de 49.2 millones de pesos. Los municipios con mayor superficie sembrada son Ocotlán de Morelos, San José del Progreso y San Antonino Castillo Velasco (Tabla 17).

| Municipio | Sup. Sembrada(Ha) | Sup. Cosechada(Ha) | Producción (Ton) | Valor producción (Miles de pesos) |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------------|
| Asunción Ocotlán | 42.9 | 42.9 | 774.2 | 2347.1 |
| Magdalena Ocotlán | 22.2 | 22.2 | 398.1 | 296.8 |
| Ocotlán de Morelos | 445.6 | 443.8 | 11165.4 | 15781.1 |
| San Antonino Castillo Velasco | 151.1 | 150.1 | 3046.6 | 9404.5 |
| San Dionisio Ocotlán | 48.1 | 47.1 | 655.8 | 1703.4 |
| San José del Progreso | 180.0 | 177.4 | 1337.2 | 3233.6 |
| San Juan Chilateca | 31.3 | 31.3 | 1051.7 | 1082.5 |
| San Martín Tilcajete | 42.0 | 42.0 | 357.5 | 1334.6 |
| San Miguel Tilquiápam | 38.7 | 38.7 | 402.5 | 1025.8 |
| San Pedro Apóstol | 56.1 | 55.7 | 873.1 | 1148.8 |
| San Pedro Mártir | 37.3 | 37.2 | 610.6 | 1655.7 |
| Santa Ana Zegache | 101.0 | 98.3 | 2221.8 | 1908.7 |
| Santa Catarina Minas | 24.2 | 24.2 | 402.0 | 632.0 |
| Santa Lucía Ocotlán | 43.6 | 43.6 | 1056.4 | 1336.3 |
| Santiago Apóstol | 68.9 | 68.9 | 1610.4 | 3084.2 |
| Santo Tomás Jalieza | 77.0 | 77.0 | 1069.5 | 3273.9 |

Tabla 17. Producción agrícola reportada en el REPDA

En relación con el ingreso, se utilizaron dos indicadores, el primero en relación a la satisfacción de necesidades y el segundo a la distribución del ingreso en el municipio. Ambos se obtuvieron del conjunto de indicadores para la medición de la pobreza en México a nivel municipal (Coneval, 2010). El indicador del porcentaje de la población con ingreso inferior a la línea de bienestar, que equivale al valor total de la canasta alimentaria y de la canasta no alimentaria por persona al mes. En diez de los municipios, más del 75% de la población tiene un ingreso inferior a la línea de bienestar.

El índice de Gini es una medida de la desigualdad en la distribución del ingreso. Este índice varía entre cero y cien. Mientras más alto es su valor mayor desigualdad existe en la distribución del ingreso. En el caso de los municipios del Valle de Ocotlán, que los ingresos están medianamente distribuidos con valores que van de 37 a 47 (Tabla 18).

| Municipio | Población con ingreso inferior a la línea de bienestar | Coefficiente de Gini |
|-------------------------------|--|----------------------|
| Asunción Ocotlán | 92.32 | 40.00 |
| Magdalena Ocotlán | 78.69 | 44.00 |
| Ocotlán de Morelos | 72.58 | 47.00 |
| San Antonino Castillo Velasco | 89.89 | 40.00 |
| San Dionisio Ocotlán | 83.09 | 47.00 |
| San José del Progreso | 60.56 | 38.00 |
| San Juan Chilateca | 36.02 | 39.00 |
| San Martín Tilcajete | 61.16 | 42.00 |
| San Miguel Tilquiápam | 94.88 | 37.00 |
| San Pedro Apóstol | 65.61 | 45.00 |
| San Pedro Mártir | 87.07 | 38.00 |
| Santa Ana Zegache | 81.84 | 41.00 |
| Santa Catarina Minas | 73.71 | 40.00 |
| Santa Lucía Ocotlán | 91.51 | 35.00 |
| Santiago Apóstol | 90.48 | 39.00 |
| Santo Tomás Jalieza | 75.45 | 43.00 |

Tabla 18. Ingreso inferior a la línea de bienestar y coeficiente de Gini en los municipios del valle de Ocotlán

La actividad minera en el Valle de Ocotlán La actividad minera metálica es un actor que comienza a tomar mayor importancia en la región de Valles Centrales, la cual está localizada en el valle de Ocotlán que forma parte del distrito minero de Taviche. En esta zona se han otorgado al menos 53 concesiones, está en operación la mina “San José” que explota oro y plata, reportando volúmenes de extracción de 1500 toneladas diarias de roca con mineral (Fortuna Silver, 2014). La mina es subterránea y ahí mismo se cuenta con una planta de beneficio para separar los minerales de importancia del resto de la roca. La región es semiárida y con problemas serios de disponibilidad de agua, lo que implica que la actividad minera estaría sumándose a la presión hídrica de la zona, así como una fuente potencial de contaminación. Actualmente no existen estadísticas sobre impactos ambientales o sobre la generación de empleos.

Capítulo 5 Índice de Vulnerabilidad Hídrica en el Valle de Ocotlán

Los factores que mayor efecto tienen en el componente biofísico de la vulnerabilidad hídrica del valle Ocotlán son: la cobertura de vegetación, la evapotranspiración, la erosión, la disponibilidad del agua y la vulnerabilidad intrínseca del acuífero. En los aspectos sociales, el valle tiene un porcentaje mayor del 30% de población indígena, este grupo social es vulnerable, principalmente por parte de las políticas del gobierno federal. Otro aspecto social en el valle es la densidad poblacional, ya que la superficie de territorio y la población varían entre los municipios. Para el componente socio-cultural se propusieron los siguientes indicadores: densidad poblacional, porcentaje de población indígena, marginación, tasa de mortalidad y demanda de agua per cápita a nivel municipal. En el componente económico productivo, la actividad de agricultura de riego es la que representa una fuente de ingresos a las comunidades y por lo tanto al verse afectada aumentaría la vulnerabilidad de los municipios. Los indicadores propuestos son: porcentaje de la población dedicada al sector primario, rendimiento de la producción, uso de fertilizantes, porcentaje de la población con ingreso inferior a la línea de bienestar y el coeficiente de Gini. La relación con la vulnerabilidad y una descripción de cada indicador se presentan en la tabla 19 y 20.

Todos los indicadores se normalizaron con los valores mínimos y máximos entre los municipios para establecer una medida que permita identificar qué aspectos afectan más o menos a los 16 municipios de la cuenca del Valle de Ocotlán y poder realizar recomendaciones. Los pesos para cada indicador se calcularon con base en el método de Iyengar y Sudarshan, descrito en el capítulo 3. Esta metodología la aplicó [Ojeda et al. \(2010\)](#), en su evaluación de vulnerabilidad de la agricultura de riego en México ante el cambio climático y en el desarrollo de índices en el Programa Nacional contra la Sequía ([Conagua, 2015](#)). Este método de ponderación garantiza que grandes variaciones de uno o más indicadores no dominen la contribución del resto de los indicadores y distorsionen la comparación entre distritos o municipios. Cada uno de los pesos se multiplicó por los valores normalizados y se sumaron para integrar un índice de vulnerabilidad para cada componente (Tabla 21). La vulnerabilidad global se obtuvo de la suma de los componentes con un peso de un tercio para cada uno. La escala de la vulnerabilidad es de 0-1, valores cercanos a cero representan baja vulnerabilidad y valores altos mayor vulnerabilidad.

| Componente | Indicador | Relación del indicador con la vulnerabilidad | Fuente | Descripción |
|--------------------------------|---|--|----------------------|--|
| Sistema Biofísico | Cobertura de la vegetación natural | ↑ Vegetación ↓ V | Análisis satelital | La cobertura de la vegetación permite la recarga, mantiene la humedad del suelo y reduce los procesos erosivos. |
| | Evapotranspiración (Ev) | ↑ Ev ↑ V | Balance SWAT | La evapotranspiración real está en función de la temperatura y la cobertura de vegetación. Un porcentaje alto de Ev reduce la disponibilidad de agua. |
| | Peligro por sequía (PS) | ↑ PS ↑ V | CENAPRED | Déficit promedio de lluvia (%) respecto a su lluvia media anual y duración de la sequía. |
| | Erosión (USLE) | ↑ USLE ↑ V | Balance SWAT | La erosión es un proceso que está relacionado a la velocidad de escurrimiento, tipo de suelo, uso de suelo. Los procesos erosivos vulneran la capacidad de regeneración de los bosques al perderse los suelos. |
| | Disponibilidad de agua | ↑ Disponibilidad ↑ V | SWAT y Norma oficial | Reflejan la relación que existe entre la cantidad de agua que se dispone por precipitación, la que sale por escurrimiento y las que se aprovecha. Si esta relación es negativa implica mayor vulnerabilidad |
| | Vulnerabilidad del acuífero | ↑ VI ↑ V | DRASTIC pesticidas | Este indicador refleja la vulnerabilidad intrínseca del acuífero a partir de sus propiedades hidrogeológicas que puede ser afectada por procesos de contaminación en la superficie |
| Sistema Socio-cultural | Densidad poblacional | ↑ densidad ↑ V | INEGI, 2010 | La densidad se utiliza como una manera de estimar la exposición del sistema. |
| | Población indígena | ↑ PI ↑ V | INEGI, CDI, 2010 | Ser indígena aumenta la probabilidad de una persona de ser pobre, alcanzar menos años de educación y tener un menor acceso a servicios básicos de salud |
| | Marginación | ↑ M ↑ V | CONAPO | La marginación se asocia a la carencia de oportunidades sociales y a la ausencia de capacidades para adquirirlas o generarlas. |
| | Mortalidad infantil | ↑ M ↑ V | INEGI, 2010 | Existe una correlación inversa entre el acceso a servicios de agua potable y la mortalidad infantil. Este indicador nos da información indirecta sobre cantidad y calidad del agua |
| | Demanda de agua anual para consumo humano (m ³) | ↑ A ↓ V | INEGI, 2010 | Naciones Unidas recomienda que el consumo mínimo per cápita para satisfacer las necesidades básicas es de 150 litros diarios. Con base en la población por municipio se calculó la demanda anual de agua |
| Sistema económico - productivo | Rendimiento en la producción (\$/ha) | ↑ Riego, ↑ V | SIAP | Valor promedio de producción en relación a la superficie sembrada reportada en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) para cada municipio en el periodo de 2005-2010 |
| | Población ocupada en la agricultura | ↑ personas en el sector agrícola, ↑ V | INEGI, 2005 | La agricultura es una actividad con gran dependencia de agua y particularmente la agricultura campesina que tiene menos apoyos y existen presiones por el uso de suelo para otras actividades. |
| | Uso de fertilizantes | ↑ Uso, ↑ V | IMTA, 2015 | Los fertilizantes disminuyen la calidad del agua |
| | Población con ingreso inferior a la línea de bienestar | ↑ PILB, ↑ V | Coneval, 2010 | Porcentaje de la población que no alcanzan a satisfacer el valor de la canasta alimentaria por persona al mes |
| | Coefficiente de Gini | ↑ Gini ↑ V | Coneval, 2010 | Este indicador, mide la desigualdad económica de una sociedad, mediante la exploración del nivel de concentración que existe en la distribución de los ingresos entre la población. |

Tabla 19. Componentes e indicadores de la Vulnerabilidad Hídrica en la cuenca del Valle de Ocotlan

| Municipio | Biofísico | | | | | | Sociocultural | | | | Económico-productivo | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------|---|--|---|--------------------|-------------|---------------------|---|---|--------------------------------------|----------------------|--|----------------------|
| | Peligro por sequía | % Cobertura de la vegetación natural | Evapotranspiración mm | Erosión (ton/ha) | Disponibilidad de agua (Hm ³) | Vulnerabilidad intrínseca del acuífero | Densidad poblacional (Hab/km ²) | Población indígena | Marginación | Mortalidad infantil | Demanda de agua anual para consumo humano (m ³) | Población ocupada en el sector agrícola | Rendimiento en la producción (\$/ha) | Uso de fertilizantes | Población con ingreso inferior a la línea de bienestar | Coeeficiente de Gini |
| Asunción Ocotlán | 0.375 | 0.02 | 460.8 | 1.6 | 0.14 | 151.05 | 675.9 | 0.94 | 44.9 | 17.8 | 143,007 | 0.85 | 54.77 | 40.07 | 92.32 | 40.00 |
| Magdalena Ocotlán | 0.375 | 0 | 463.9 | 18.7 | 0.26 | 150.46 | 101.4 | 0.38 | 32.8 | 22.2 | 62,470 | 0.31 | 13.36 | 95.25 | 78.69 | 44.00 |
| Ocotlán de Morelos | 0.375 | 0.03 | 489.0 | 93.5 | 2.62 | 134.25 | 180.5 | 0.08 | 25.7 | 15.3 | 1,168,420 | 0.23 | 35.56 | 49.67 | 72.58 | 47.00 |
| San Antonino Castillo Velasco | 0.875 | 0 | 458.5 | 2.2 | 0.23 | 139.37 | 551.6 | 0.39 | 37.6 | 18.8 | 309,392 | 0.45 | 62.64 | 69.96 | 89.89 | 40.00 |
| San Dionisio Ocotlán | 0.375 | 0.01 | 418.5 | 24.8 | 0.21 | 156.76 | 123.9 | 0.10 | 34.5 | 17.0 | 68,164 | 0.40 | 36.15 | 75.69 | 83.09 | 47.00 |
| San José del Progreso | 0.375 | 0.17 | 435.6 | 283.0 | 2.59 | 108.76 | 60.6 | 0.21 | 27.0 | 16.1 | 360,200 | 0.28 | 18.23 | 32.95 | 60.56 | 38.00 |
| San Juan Chilateca | 0.875 | 0.03 | 355.7 | 12.4 | 0.11 | 143.35 | 298.3 | 0.02 | 18.0 | 14.4 | 78,950 | 0.38 | 34.60 | 90.78 | 36.02 | 39.00 |
| San Martín Tilcajete | 0.875 | 0.05 | 490.1 | 37.8 | 0.47 | 134.67 | 104.6 | 0.02 | 24.5 | 17.1 | 95,375 | 0.37 | 31.79 | 54.16 | 61.16 | 42.00 |
| San Miguel Tilquiápam | 0.525 | 0.27 | 434.2 | 128.1 | 1.23 | 112.92 | 44.4 | 1.00 | 48.9 | 18.6 | 173,010 | 0.56 | 26.50 | 99.98 | 94.88 | 37.00 |
| San Pedro Apóstol | 0.375 | 0 | 366.1 | 4.3 | 0.23 | 156.29 | 150.3 | 0.07 | 38.9 | 13.8 | 84,534 | 0.45 | 20.63 | 92.10 | 65.61 | 45.00 |
| San Pedro Mártir | 0.375 | 0.02 | 470.3 | 14.7 | 0.22 | 148.42 | 199.1 | 0.88 | 50.0 | 18.0 | 93,677 | 0.77 | 44.53 | 79.31 | 87.07 | 38.00 |
| Santa Ana Zegache | 0.875 | 0.02 | 418.3 | 8.3 | 0.26 | 143.69 | 135.7 | 0.56 | 36.8 | 19.7 | 196,662 | 0.78 | 19.42 | 62.00 | 81.84 | 41.00 |
| Santa Catarina Minas | 0.525 | 0.19 | 436.6 | 262.2 | 1.16 | 105.58 | 47.9 | 0.03 | 31.9 | 15.0 | 99,426 | 0.49 | 26.07 | 22.95 | 73.71 | 40.00 |
| Santa Lucía Ocotlán | 0.375 | 0 | 369.4 | 15.2 | 0.37 | 145.71 | 308.6 | 0.96 | 35.7 | 24.0 | 197,319 | 0.48 | 30.65 | 100.00 | 91.51 | 35.00 |
| Santiago Apóstol | 0.875 | 0 | 437.9 | 3.6 | 0.33 | 144.29 | 232.4 | 0.96 | 42.8 | 22.3 | 231,045 | 0.62 | 44.74 | 99.40 | 90.48 | 39.00 |
| Santo Tomás Jalieza | 0.875 | 0.23 | 462.5 | 269.7 | 0.56 | 110.50 | 52.7 | 0.38 | 37.0 | 15.1 | 185,329 | 0.31 | 42.50 | 98.41 | 75.45 | 43.00 |

Tabla 20. Valor por municipio de los indicadores

| Municipio | Biofísico | | | | | | Sociocultural | | | | Económico-productivo | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------|---------|------------------------|--|----------------------|--------------------|-------------|---------------------|---|---|------------------------------|----------------------|--|----------------------|
| | Peligro por sequía | Cobertura de la vegetación natural | Evapotranspiración | Erosión | Disponibilidad de agua | Vulnerabilidad intrínseca del acuífero | Densidad poblacional | Población indígena | Marginación | Mortalidad infantil | Demanda de agua anual para consumo humano | Población ocupada en el sector agrícola | Rendimiento en la producción | Uso de fertilizantes | Población con ingreso inferior a la línea de bienestar | Coefficiente de Gini |
| Asunción Ocotlán | 0.00 | 0.93 | 0.78 | 0.00 | 0.99 | 0.89 | 1.00 | 0.94 | 0.84 | 0.39 | 0.07 | 1.00 | 0.16 | 0.22 | 0.96 | 0.42 |
| Magdalena Ocotlán | 0.00 | 1.00 | 0.81 | 0.06 | 0.94 | 0.88 | 0.09 | 0.37 | 0.46 | 0.83 | 0.00 | 0.12 | 1.00 | 0.94 | 0.72 | 0.75 |
| Ocotlán de Morelos | 0.00 | 0.89 | 0.99 | 0.33 | 0.00 | 0.56 | 0.22 | 0.07 | 0.24 | 0.14 | 1.00 | 0.00 | 0.55 | 0.35 | 0.62 | 1.00 |
| San Antonino Castillo Velasco | 1.00 | 1.00 | 0.76 | 0.00 | 0.95 | 0.66 | 0.80 | 0.38 | 0.61 | 0.49 | 0.22 | 0.35 | 0.00 | 0.61 | 0.92 | 0.42 |
| San Dionisio Ocotlán | 0.00 | 0.96 | 0.47 | 0.08 | 0.96 | 1.00 | 0.13 | 0.08 | 0.51 | 0.32 | 0.01 | 0.28 | 0.54 | 0.68 | 0.80 | 1.00 |
| San José del Progreso | 0.00 | 0.37 | 0.59 | 1.00 | 0.01 | 0.06 | 0.03 | 0.20 | 0.28 | 0.22 | 0.27 | 0.08 | 0.90 | 0.13 | 0.42 | 0.25 |
| San Juan Chilateca | 1.00 | 0.89 | 0.00 | 0.04 | 1.00 | 0.74 | 0.40 | 0.01 | 0.00 | 0.06 | 0.01 | 0.24 | 0.57 | 0.88 | 0.00 | 0.33 |
| San Martín Tilcajete | 1.00 | 0.81 | 1.00 | 0.13 | 0.86 | 0.57 | 0.10 | 0.00 | 0.20 | 0.32 | 0.03 | 0.23 | 0.63 | 0.41 | 0.43 | 0.58 |
| San Miguel Tilquiápam | 0.30 | 0.00 | 0.58 | 0.45 | 0.55 | 0.14 | 0.00 | 1.00 | 0.96 | 0.47 | 0.10 | 0.54 | 0.73 | 1.00 | 1.00 | 0.17 |
| San Pedro Apóstol | 0.00 | 1.00 | 0.08 | 0.01 | 0.95 | 0.99 | 0.17 | 0.05 | 0.65 | 0.00 | 0.02 | 0.36 | 0.85 | 0.90 | 0.50 | 0.83 |
| San Pedro Mártir | 0.00 | 0.93 | 0.85 | 0.05 | 0.96 | 0.84 | 0.24 | 0.88 | 1.00 | 0.41 | 0.03 | 0.88 | 0.37 | 0.73 | 0.87 | 0.25 |
| Santa Ana Zegache | 1.00 | 0.93 | 0.47 | 0.02 | 0.94 | 0.74 | 0.14 | 0.55 | 0.59 | 0.58 | 0.12 | 0.89 | 0.88 | 0.51 | 0.78 | 0.50 |
| Santa Catarina Minas | 0.30 | 0.30 | 0.60 | 0.93 | 0.58 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.43 | 0.12 | 0.03 | 0.43 | 0.74 | 0.00 | 0.64 | 0.42 |
| Santa Lucía Ocotlán | 0.00 | 1.00 | 0.10 | 0.05 | 0.90 | 0.78 | 0.42 | 0.96 | 0.55 | 1.00 | 0.12 | 0.41 | 0.65 | 1.00 | 0.94 | 0.00 |
| Santiago Apóstol | 1.00 | 1.00 | 0.61 | 0.01 | 0.91 | 0.76 | 0.30 | 0.96 | 0.77 | 0.84 | 0.15 | 0.62 | 0.36 | 0.99 | 0.93 | 0.33 |
| Santo Tomás Jalieza | 1.00 | 0.15 | 0.79 | 0.95 | 0.82 | 0.10 | 0.01 | 0.38 | 0.59 | 0.13 | 0.11 | 0.13 | 0.41 | 0.98 | 0.67 | 0.67 |

Tabla 21 Indicadores normalizados

| Componente | Indicador | Peso |
|----------------------|--|-------------|
| Biofísico | Peligro por sequia | 0.12 |
| | Cobertura de la vegetación natural | 0.17 |
| | Evapotranspiración | 0.19 |
| | Erosión | 0.16 |
| | Disponibilidad de agua | 0.18 |
| | Vulnerabilidad intrínseca del acuífero | 0.17 |
| Sociocultural | Densidad poblacional | 0.2 |
| | Población indígena | 0.15 |
| | Marginación | 0.21 |
| | Mortalidad infantil | 0.2 |
| | Demanda de agua anual para consumo humano | 0.24 |
| Económico-productivo | Población ocupada en el sector agrícola | 0.19 |
| | Rendimiento en la producción | 0.21 |
| | Uso de fertilizantes | 0.17 |
| | Población con ingreso inferior a la línea de bienestar | 0.22 |
| | Coficiente de Gini | 0.2 |

Tabla 22. Pesos asignados a cada indicador

Vulnerabilidad biofísica

Los valores más altos de vulnerabilidad biofísica corresponden a los municipios de San Antonino Castillo Velasco, San Martín Tilcajete; los de menor vulnerabilidad son San Miguel Tilquiápam, y San José del Progreso (Fig. 26). Los municipios con mayor vulnerabilidad presentan un alto peligro por sequía, tienen menor disponibilidad de agua, alta vulnerabilidad intrínseca y carecen de cobertura vegetal. Los municipios de la parte baja, hacia el norte de la cuenca, son los que presenta los valores más altos de vulnerabilidad biofísica. Hacia el este de la cuenca, en la porción montañosa, la erosión es el factor que más afecta (Fig. 27).

En general, la disponibilidad del agua se ve afectada, ya que el agua escapa de la cuenca por evapotranspiración y escurrimientos, principalmente por la falta de cobertura de vegetación en las partes altas. Este proceso se agrava por la presencia de suelos someros muy susceptibles a la erosión y por los eventos de sequía que se han presentado con más frecuencia. En la zona de llanura de la cuenca, la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación es alta debido a la naturaleza somera del acuífero y su formación geológica: aluvión.

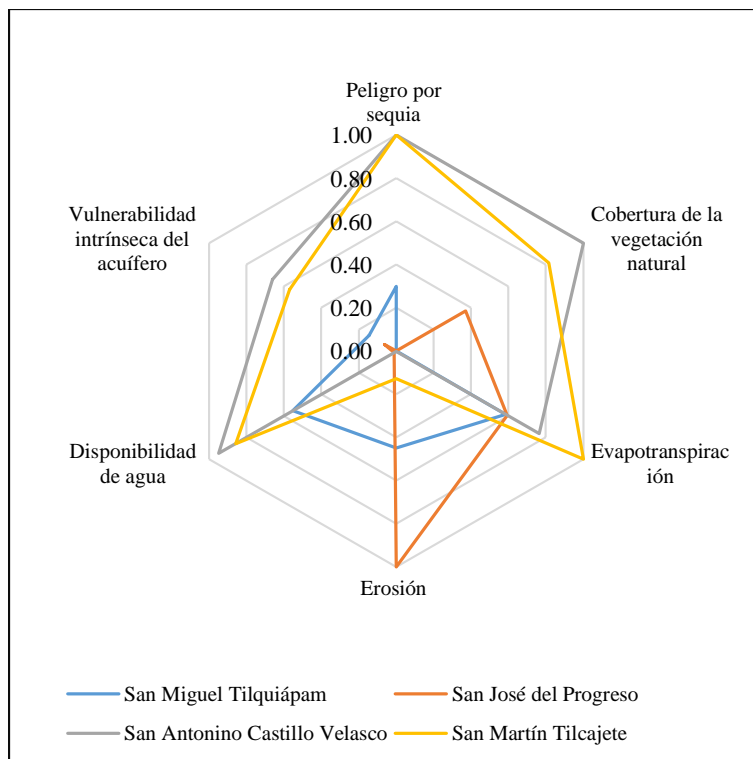


Figura 26. Indicadores Biofísicos

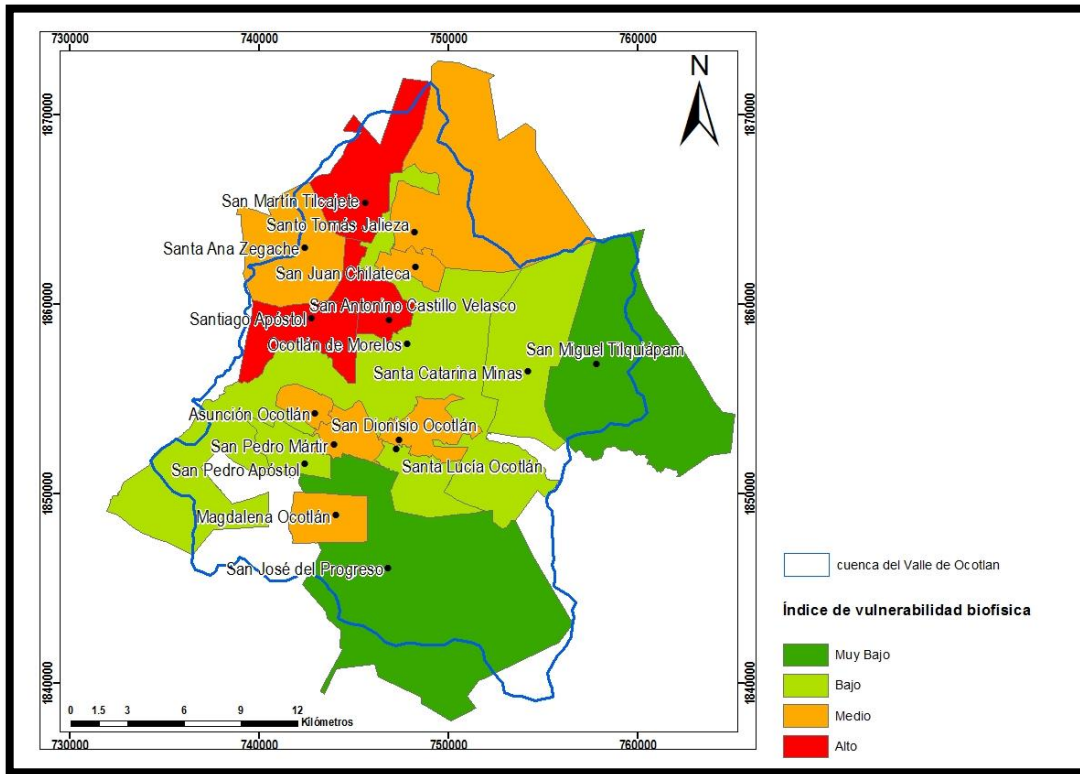


Figura 27. Vulnerabilidad sociocultural

Vulnerabilidad socio-cultural

Los valores más altos de vulnerabilidad sociocultural se presentan en Asunción Ocotlán, Santa Lucía Ocotlán, Santiago Apóstol, San Antonino Castillo Velasco y San Miguel Tilquiápam. Los de menor son San Martín Tilcajete, San Juan Chilateca y Santa Catarina Minas. Los municipios de mayor vulnerabilidad sociocultural son los que tiene más población indígena y valores altos de marginación. En la figura 28 se muestra el comportamiento de los indicadores para los municipios de mayor y menor vulnerabilidad sociocultural. Su vulnerabilidad aumenta si los municipios presentan una densidad poblacional alta como el caso de Asunción Ocotlán, San Antonino Castillo Velasco, Santa Lucía Ocotlán, Santiago Apóstol y San Pedro Mártir (Fig. 29). Aunque no hay una relación directa, los valores más altos de mortalidad infantil también se presentan con municipios con población indígena.

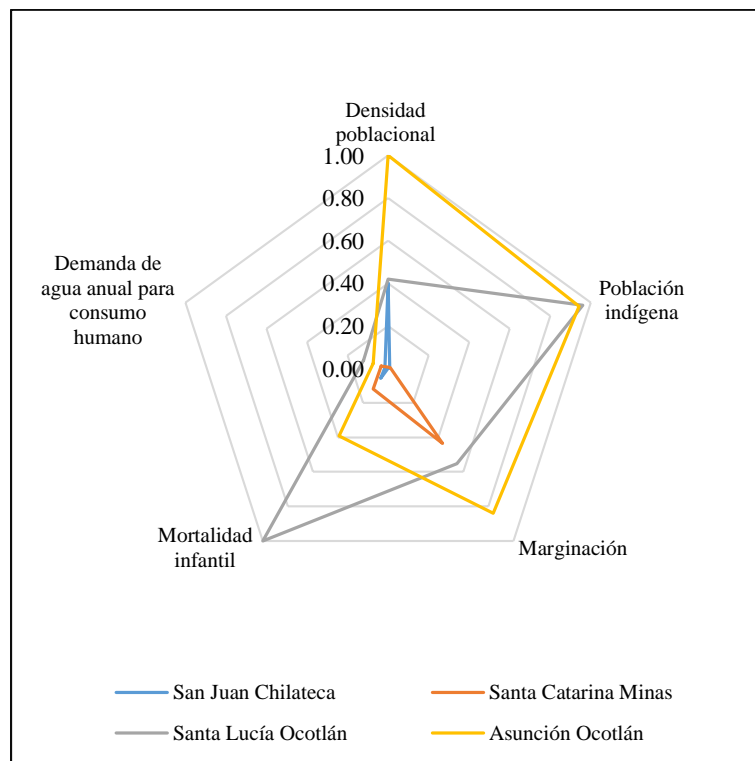


Figura 28. Indicadores socio-culturales

El indicador de demanda de agua anual para consumo humano está ligado al tamaño de la población. En los municipios del valle Ocotlán, el rango de este indicador es muy amplio, hay siete municipios que tienen una demanda menor a 100,000 m³ de agua, mientras que los municipios de mayor población San Antonino Castillo Velasco y San José del Progreso tienen una demanda mayor de 300,000 m³ y Ocotlán de Morelos rebasa por mucho a todos los municipios con 1, 168,420 m³ (Tabla 20). Por esta gran variación, este indicador fue el que tuvo mayor ponderación, de 0.24 (Tabla 21). Esto compensó, pero también disminuyó, el grado de vulnerabilidad del resto de los municipios. El municipio de Ocotlán es el más urbanizado y su crecimiento se sostiene en una tasa de 1.87.

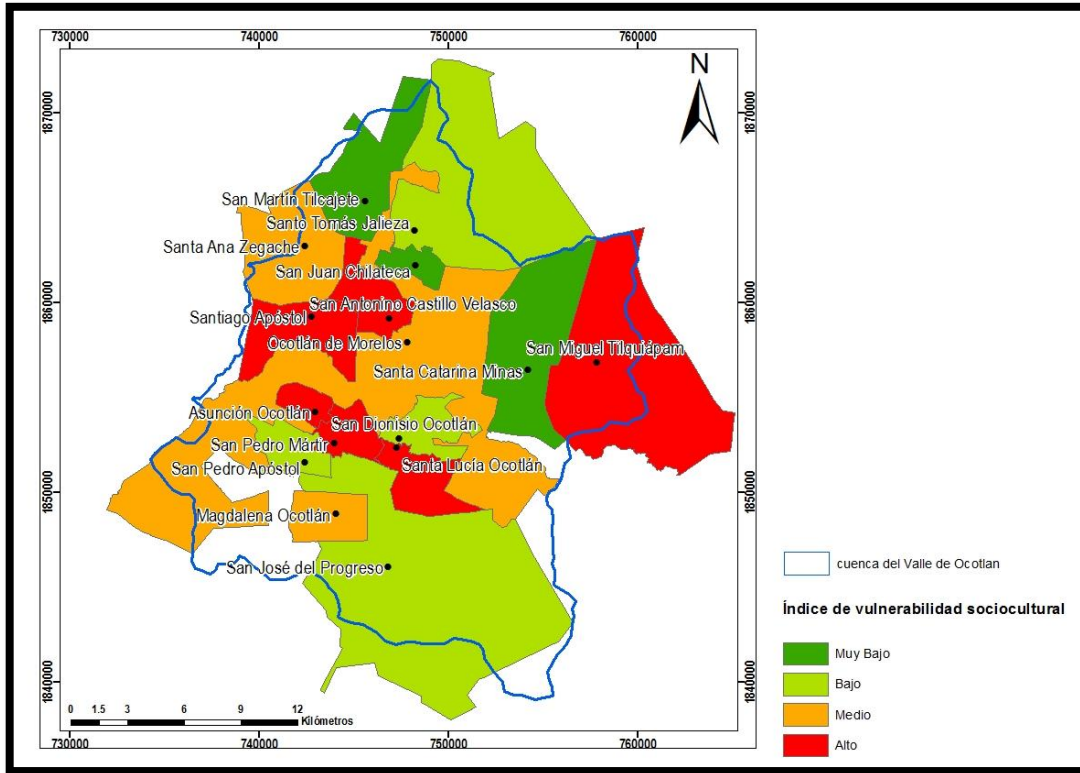


Figura 29. Vulnerabilidad Sociocultural

Vulnerabilidad económica-productiva

Los municipios con mayor vulnerabilidad económica-productiva fueron Magdalena Ocotlán y Santa Ana Zegache, y los de menor vulnerabilidad fueron San José del Progreso y San Juan Chilateca. Los indicadores que afectan más a la vulnerabilidad económica-productiva son el ingreso inferior a la línea de bienestar, porcentaje de la población ocupada en el sector agrícola y el uso de fertilizantes (Fig. 30). En general los municipios presentan dificultades para obtener rendimientos altos sin el uso de fertilizantes.

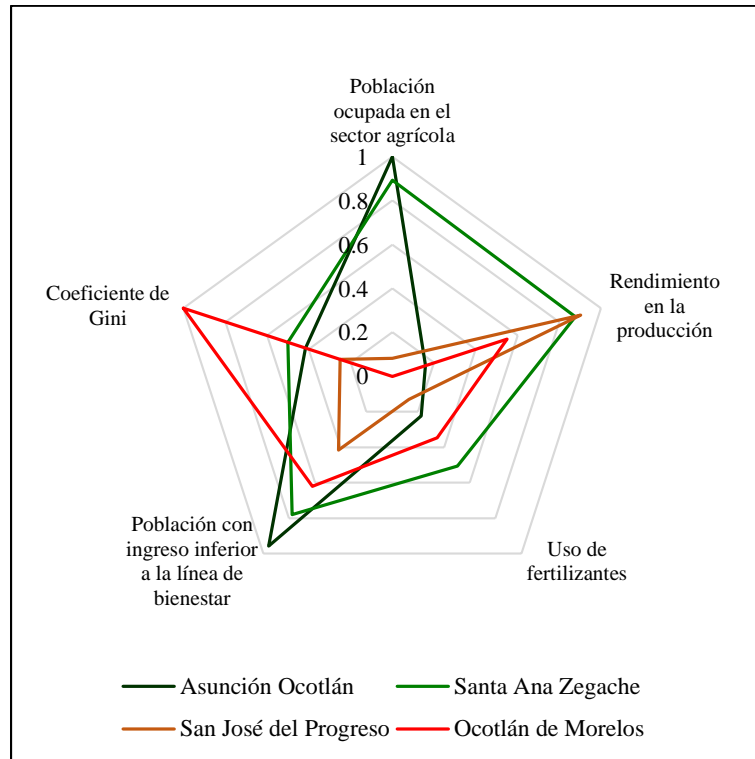


Figura 30. Indicadores económicos-productivos

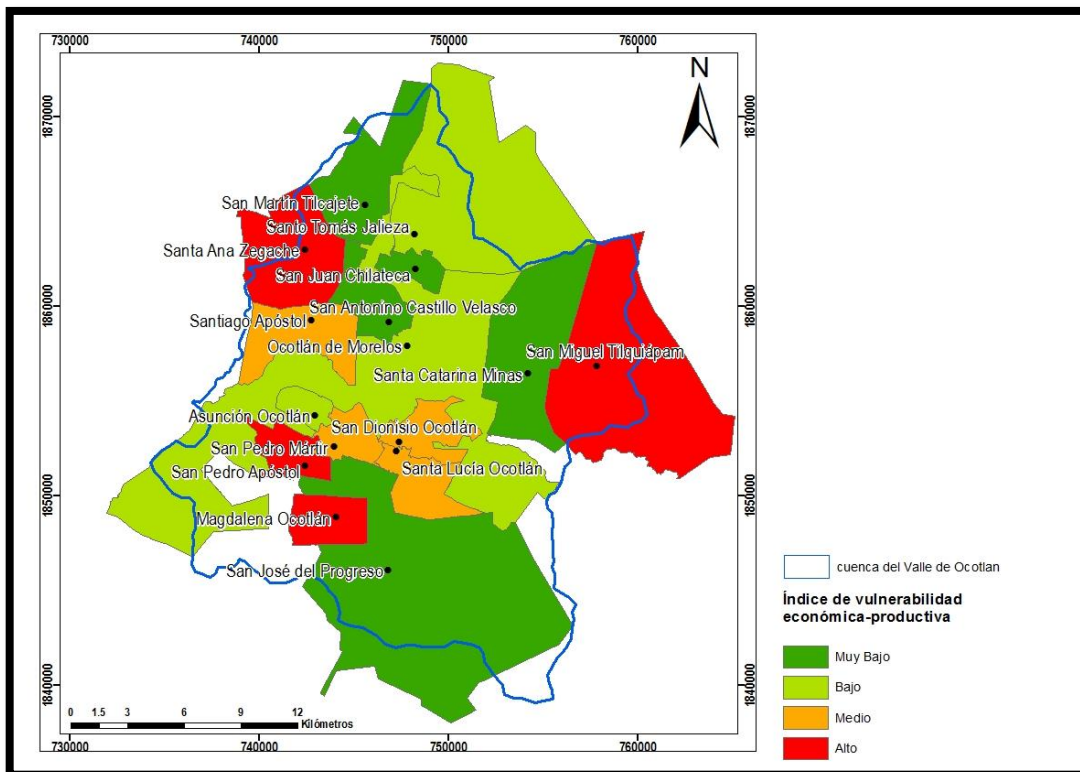


Figura 31. Vulnerabilidad económica-productiva

Vulnerabilidad hídrica

En la figura 32 se observa el comportamiento de cada uno de los componentes sobre la vulnerabilidad global para cada municipio. El componente biofísico es el que más influye en la vulnerabilidad, seguido por el componente económico-productivo y por último, el componente sociocultural. Los municipios con la Vulnerabilidad Hídrica más alta son Asunción Ocotlán y Santiago Apóstol, con 0.605 y 0.639, respectivamente. Los valores más bajos corresponden a los municipios de San José del Progreso y Santa Catarina Minas, 0.30 y 0.34, respectivamente.

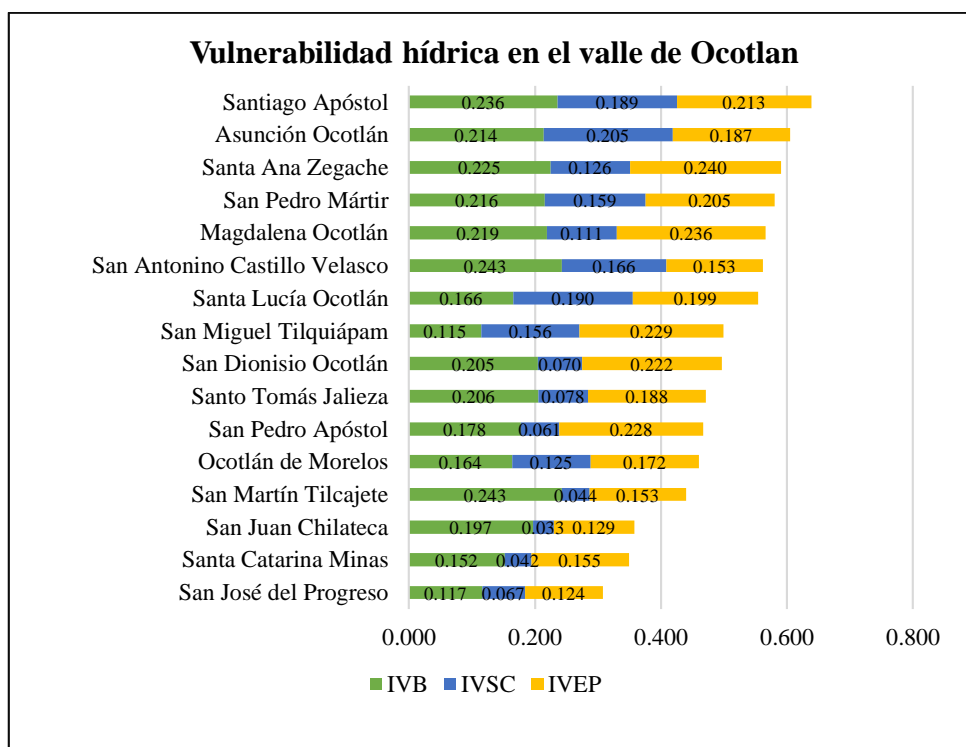


Figura 32. Vulnerabilidad hídrica en la cuenca del Valle de Ocotlán

En la figura 33 se observa que los dos municipios con mayor vulnerabilidad hídrica se encuentran al norte del valle. En el aspecto biofísico se caracterizan por su escasa vegetación, vulnerabilidad intrínseca alta, limitada disponibilidad de agua, grado alto de peligro por sequía y elevada evapotranspiración. En lo sociocultural, estos municipios presentan un grado alto de marginación, la mayor densidad poblacional de la cuenca y una alta representatividad indígena; esta condición aumenta su vulnerabilidad debido principalmente porque no tiene los recursos materiales para hacer frente a escenarios de escasez y porque principalmente son grupos sociales que no son tomados en cuenta en la administración del agua y se enfrentan a la imposición de modelos hidráulicos que no respetan su organización y su cosmovisión del agua. También en

esta zona se concentran los municipios donde la principal actividad económica es la agricultura de riego, sin embargo, tienen una alta dependencia de agroquímicos y los reportes sobre el ingreso, señalan que estos municipios están por debajo de la línea de bienestar. Esta condición es un reflejo más de la condición de abandono que tiene el sector agrícola campesino, que subsiste por ser parte de la cultura de las comunidades, sin embargo, no existen apoyos en las políticas públicas del Estado.

Los municipios con menor vulnerabilidad se encuentran en la parte de lomeríos y montañas de la cuenca, en la porción este. En el componente biofísico, tienen mayor disponibilidad de agua, menor evapotranspiración, mayor cobertura de vegetación, vulnerabilidad intrínseca baja y bajo peligro a la sequía. El factor que si le afecta y de manera importante es la erosión. En relación, al componente sociocultural, en el caso de Ocotlán, San José del Progreso, San Juan Chiliteca y Santa Catarina Minas, se presentan los valores más bajos de marginación, porcentaje de población indígena y densidad poblacional. En lo económico-productivo, son municipios que se dedican menos a la agricultura, se presentan valores medios de ingreso inferior a la línea de bienestar y el coeficiente de Gini.

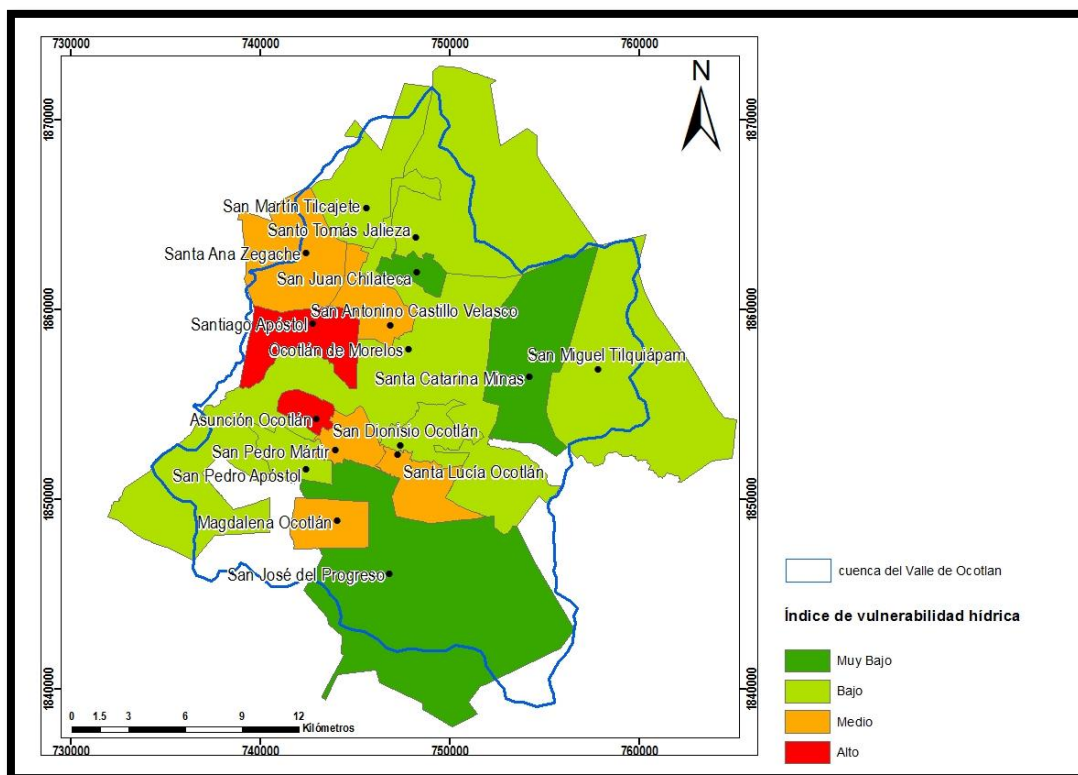


Figura 33. Vulnerabilidad hídrica en el valle de Ocotlán

En otros estudios se reportan valores de medios a altos de riesgo a la sequía y vulnerabilidad al cambio climático para los municipios de la cuenca del valle de Ocotlán (tabla 23), sin embargo,

| Estudio | Autor | Indicadores | Grado de vulnerabilidad | Descripción |
|---|--|---|-------------------------|--|
| Mapas de índices de riesgo a escala municipal por fenómenos hidrometeorológicos | (Jiménez, Baeza, Matías, y Eslava, 2012) | Déficit promedio de lluvia (%) respecto a su lluvia media anual Duración de la sequía promedio (años) Densidad poblacional Vulnerabilidad social (incluye indicadores de Salud, Educación, Vivienda, Empleo e Ingresos y Población) | Medio a muy alto | Evalúa los riesgos a diversos fenómenos hidrometeorológicos. En este caso se analizó el riesgo a la sequía, con dos componentes considerando la vulnerabilidad física y social |
| Vulnerabilidad de la agricultura de riego en México ante el cambio climático | (B. W. Ojeda et al., 2010) | Indicadores de exposición: anomalía de la precipitación y temperatura, probabilidad de sequía, aumento del nivel del mar, frecuencia de ciclones De sensibilidad: diversidad de cultivos, tamaño de parcela, población rural, uso de fertilizantes, variabilidad de la precipitación, variabilidad en el rendimiento evapotranspiración, degradación de suelos De capacidad adaptativa Marginación, analfabetismo, cobertura de servicios, dependientes, ingresos agrícola intensidad en el uso de la tierra, mecanización agrícola, cobertura de crédito, acceso a centros urbanos | Medio-alto | Estimar la vulnerabilidad de las zonas de riego a nivel nacional para los ciclos agrícolas otoño-invierno y primavera-verano con base en proyecciones regionalizadas de temperatura y precipitación, según dos posibles escenarios de emisiones A1B y A2 |
| Contribución al estudio de la vulnerabilidad al cambio climático en México | (Monterroso, 2012) | 60 indicadores: 16 para caracterizar la exposición, 23 para sensibilidad y 21 para capacidad adaptativa. De los indicadores seleccionados, 48 corresponden a información considerada base mientras que 10 son resultado de considerar dos modelos de cambio climático y dos son proyecciones socio económicas a futuro. | Medio-Alto | Evaluar la vulnerabilidad del sector agrícola ante escenarios de cambio climático |
| Efectos del cambio climático en la disponibilidad hídrica de la subcuenca Alto Atoyac, Oaxaca, México: análisis de vulnerabilidad | (E. Ojeda, 2014) | Índice de población municipal, índice de marginación social, índice de uso de suelo y cambio de coberturas, índice de escorrentía superficial al CC, índice de recarga hídrica al CC, índice de potencial a la contaminación agrícola e índice de explotación de acuíferos. | Altos | Determinar la vulnerabilidad hídrica de la subcuenca Alto Atoyac frente al CC |

Tabla 23. Otros estudios de vulnerabilidad o riesgo que reportan valores de vulnerabilidad en la cuenca del valle de Ocotlán

Capítulo 6 Conclusiones y recomendaciones

El índice vulnerabilidad permite tener una aproximación cualitativa a la problemática hídrica del valle de Ocotlán, sin embargo, existe una escasez de información a nivel municipal y los datos provienen de diversas fuentes, por lo tanto, requiere ser complementado con otros estudios multidisciplinarios que permitan entender la complejidad de los procesos biofísicos y sociales de la cuenca.

Los municipios de San Antonino Castillo Velasco, Santiago Apóstol y Santa Ana Zegache se encuentran en la zona de mayor vulnerabilidad. Estas comunidades encabezan el movimiento social que busca solucionar el conflicto con la Conagua por la administración del agua. En su territorio han realizado obras para la recarga del acuífero. Estos aspectos no se reflejan en el índice de vulnerabilidad, por lo tanto son procesos que deben ser considerados en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.

La población del municipio de San José del Progreso está dividida a raíz del inicio de operaciones de una mina en su territorio, sin embargo, presenta los valores más bajos de vulnerabilidad. El índice no considera el efecto de la aplicación de políticas públicas sobre el tejido social de la comunidad.

El factor biofísico es el que más influye en la vulnerabilidad hídrica. No existen datos actualizados de precipitación, caudal y erosión. Es necesario contar con mediciones locales recientes y aplicar herramientas computacionales que permitan estimar los datos necesarios para la caracterización hidrogeológica.

La herramienta Soil and Water Assessment Tool (SWAT) permitió procesar variables climatológicas, de uso y tipo de suelo y de relieve para el modelado hidrológico de la cuenca del valle de Ocotlán. Se puede complementar con modelado hidrogeológico con la herramienta Modflow para obtener un modelo integral de la cuenca, que permita describir mejor el componente biofísico.

La red de pozos de monitoreo de la Conagua sólo cuenta con 16 puntos de observación para todo el valle de Ocotlán, lo cual no es suficiente para representar la heterogeneidad del acuífero. Se requiere diseñar e implementar una red de monitoreo del nivel freático para conocer las variaciones espacial y temporal de la piezometría.

El REPDA no permite conocer los usos del agua ni medir las extracciones. El cálculo de la disponibilidad de agua a partir de los datos que brinda no se ajusta a los volúmenes reales. Se recomienda que los usuarios sean los que administren al agua mediante la medición del tiempo de bombeo, identificación de la capacidad del equipo de bombeo, requerimientos de agua del cultivo y la ejecución de prácticas agroecológicas.

Bibliografía

- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 268-281. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006
- Aller, L., Lehr, J. H., Petty, R., y Bennett, T. (1987). Drastic: A standardized system to evaluate ground water pollution potential using hydrogeologic settings.
- Ávila, G. P. (2008). Vulnerabilidad socioambiental, seguridad hídrica y escenarios de crisis por el agua en México *Ciencias*, Núm. 90, abril-junio, 2008, pp. 46-57 Universidad Nacional Autónoma de México. *Ciencias*(90), 46-57.
- Ávila, G. P. (2012). Cambio global y seguridad hídrica en México In C. J. Luis (Ed.), *Cambio climático y políticas de desarrollo sostenible* (Vol. 14): Juan Pablos Editor, S.A; Consejo Nacional de Universitarios.
- Belmonte-Jiménez, S. I., Campos-Enríquez, J. O., y Alatorre-Zamora, M. A. (2005). Vulnerability to contamination of the Zaachila aquifer, Oaxaca, Mexico. *Geofísica Internacional*, 44(3), 283-300.
- Bharwani, S., Downing, T., Haase, D., Claudia, P.-W., Taylor, A., Shale, M., . Esteve, P. (2008). *Dynamic Vulnerability. Learning from NeWater Case Studies*: Stockholm Environment Institute, Oxford.
- Burgos, A. (2011). *Aplicación del enfoque de manejo adaptativo de los recursos hídricos (AWRM) a nivel local-comunitario en núcleos agrarios de cuencas rurales del trópico seco en Michoacán*. Paper presentado en las Memorias del II Congreso Nacional de Cuencas en VillaHermosa (Tabasco).
- Carabias, J., y Landa, R. (2005). *Agua, Medio Ambiente y Sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos*. Universidad Nacional Autónoma de México, El Colegio de México, Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Chávez-Guillén, R. (1977). Geohidrología del valle de Zimatlán, Oaxaca, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 38(2), 65-85.
- Conagua (2010), Registro Público de Derechos de Agua, recuperado el 15 de noviembre de 2015 www.conagua.gob.mx.
- Conagua, (2015). Programa Nacional contra la Sequía. from <http://www.pronacose.gob.mx/>
- Consejo Nacional de Población (2010). Índices de Marginación 2010 a nivel municipal.
- Coneval. (2010). Metodología para la medición de la pobreza en los municipios de México
- COPEI INGENIERIA, (2003). Estudio de actualización geohidrológica del acuífero de Valles Centrales, Estado de Oaxaca Comisión Nacional del Agua/Gerencia Regional Pacífico Sur.
- de Grosbois, D., y Plummer, R. (2015). Problematizing Water Vulnerability Indices at a Local Level: a Critical Review and Proposed Solution. *Water Resources Management*, 29(14), 5015-5035. doi: 10.1007/s11269-015-1101-0
- DOF. (1967). *Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona conocida como Valle de Oaxaca, cuya extensión y límites geopolíticos comprende los ex distritos de ETLA, Centro, Tlacolua, Zimatlán y Ocotlán, Oax.* . Mexico: Diario Oficial de la Federación.
- Füssel, H.-M. (2007). Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, 17(2), 155-167. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.05.002>

- Füssel, H.-M., y Klein, R. J. (2006). Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climatic change*, 75(3), 301-329.
- García, E., y CONABIO (Cartographer). (1998). Climas . Clasificación de Koppen modificado por García
- Gay, y. G. C., y Rueda, A. J. C. (2015). *Reporte mexicano de cambio climático. Grupo II. Impactos, vulnerabilidad y adaptación*: Universidad Nacional Autónoma de México; Programa de Investigación en Cambio Climático.
- Hernández, E. X. (1988). La agricultura tradicional en México. *Comercio Exterior*, 38(8), 673-678.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2010. XIII Censo de población y vivienda 2010. México. INEGI
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2011. Guía para la interpretación de cartografía edafología escala 1: 250,000. Serie II. INEGI México. 32 pp.
- Jiao, X., y Moinuddin, H. (2015). Operationalizing analysis of micro-level climate change vulnerability and adaptive capacity. *Climate and Development*, 1-13. doi: 10.1080/17565529.2014.989191
- Jiménez, E. M., Baeza, R. C., Matías, R. L. G., y Eslava, M. H. (2012). *Mapas de índices de riesgo a escala municipal por fenómenos hidrometeorológicos*: Sistema Nacional de Protección Civil; Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Joakim, E. P., Mortsch, L., y Oulahen, G. (2015). Using vulnerability and resilience concepts to advance climate change adaptation. *Environmental Hazards-Human and Policy Dimensions*, 14(2), 137-155. doi: Doi 10.1080/17477891.2014.1003777
- Juwana, I., Muttill, N., y Perera, B. J. C. (2012). Indicator-based water sustainability assessment - A review. *Science of the Total Environment*, 438, 357-371. doi: DOI 10.1016/j.scitotenv.2012.08.093
- Lawrence, P., Meigh, J., y Sullivan, C. A. (2002). The water poverty index: international comparisons. *Keele Economics Research Papers*, 19.
- Luers, A. L. (2005). The surface of vulnerability: An analytical framework for examining environmental change. *Global Environmental Change*, 15(3), 214-223. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2005.04.003>
- Luers, A. L., Lobell, D. B., Sklar, L. S., Addams, C. L., y Matson, P. A. (2003). A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico. *Global Environmental Change*, 13(4), 255-267.
- Maderey, R. L. (2005). *Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico*: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Matías, P. (2013, 28 de agosto 2013). Ordenan a Conagua reconocer consulta indígena en Oaxaca, *Proceso*. Recuperado de <http://www.proceso.com.mx/?p=351323>
- Monterroso, R. A. I. (2012). *Contribución al estudio de la vulnerabilidad al cambio climático en México*. (Doctorado), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Morales Santos, A. E. (2012). *La gestión adaptativa del agua ante un contexto de variabilidad y cambio climático: un enfoque operativo*. Tesis Maestría
- Mysiak, J., Hans, J. H., Sullivan, C. A., J., B., y Pahl-Wostl, C. (2010). *The Adaptive Water Resource. Management Handbook*: Earthscan.
- NORMA OFICIAL MEXICANA, NOM-011-CONAGUA-2000. Conservación del Recurso Agua que Establece las Especificaciones y el Método para Determinar la Disponibilidad Media Anual de las Aguas Nacionales.

- Ojeda, B. W. (2013). Identificación de un portafolio de medidas de adaptación al cambio climático para el sector agrícola, mediante la evaluación del riesgo actual y el proyectado al 2030.
- Ojeda, B. W., Iñiguez, C. M., y Gonzalez, C. J. M. (2010). Vulnerabilidad de la agricultura de riego en México ante el cambio climático In A. P. F. Martínez y G. C. Patiño (Eds.), *Efectos del cambio climático en los decursos hídricos de México. Tomo III. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático* (pp. 164). Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Ojeda, E. (2014). *Efectos del cambio climático en la disponibilidad hídrica de la subcuenca Alto Atoyac, Oaxaca, México: análisis de vulnerabilidad*. (Maestría), Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca.
- Pahl-Wostl, C., Isendahl, N., Sabine, M., Brugnach, M., Jeffrey, P., Medema, W., y Tessa de Vries, T. (2006). Paradigms in Water Management.
- Pérez, S., Hernández, F., Martínez, R., Ramírez, A., Pérez, H., Palacios, O., . . . F., P. (2010). Plan de manejo del acuífero valles centrales, en el estado de Oaxaca Tomo I-III. : UACH- Unidad Gestora de Servicios Tecnológicos- Comisión Nacional del Agua. Organismo de Cuenca Pacífico Sur Dirección Técnica.
- Padrón e Historial de Núcleos Agrarios (PHINA). Recuperado el 15 de noviembre del 2014. Disponible en: <http://phina.ran.gob.mx>
- Plummer, R., de Loe, R., y Armitage, D. (2012). A Systematic Review of Water Vulnerability Assessment Tools. *Water Resources Management*, 26(15), 4327-4346. doi: DOI 10.1007/s11269-012-0147-5
- Ramírez, R. N. (2009). Los roseros de Ocotlán de Morelos, Oaxaca, México. Anticipación y coexistencia. *Gazeta de Antropología*, 25(1), 1-14.
- Reyes, J., Carreón, C., Ramírez, J., Leyva, O., Campbell, H., Palacios, R., y Belmonte, S. (2009). Informe Final. Estudio de recarga artificial del Acuífero Valles Centrales del estado de Oaxaca. Tomo I-III. Reporte Interno.: Universidad Autónoma de Baja California para la Comisión Nacional del Agua, Dirección General del Organismo de Cuenca Pacífico Sur, Dirección Técnica. .
- Sánchez, A. T., y Perevochtchikova, M. (2012). La gestión del agua y el desarrollo de indicadores ambientales en México y Canadá: un análisis comparativo. *Journal of Latin American Geography*, 11(2).
- Schuschny, A., y Soto, H. (2009). Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. Guía metodológica Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Servicio Geológico Mexicano, (2015). Portal GEOINFOMEX, recuperado de <http://mapasims.sgm.gob.mx/GeoInfoMexDb/>
- Silver, F. (2014). from <http://www.fortunasilver.com/s/sustainability.asp?ReportID=570191>
- Sullivan, C. (2002). Calculating a Water Poverty Index. *World Development*, 30(7), 1195-1210. doi: 10.1016/s0305-750x(02)00035-9
- Sullivan, C., y Meigh, J. (2005). Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated index approach: the example of the climate vulnerability index. *Water science y technology*, 51(5), 69-78.
- Sullivan, C. A. (2011). Quantifying water vulnerability: a multi-dimensional approach. *Stochastic Environmental Research y Risk Assessment*, 25(4), 627-640. doi: 10.1007/s00477-010-0426-8

- Sullivan, C. A. (2013). Global water resources: where are the vulnerable? *Globality Studies Journal*, 34.
- Sullivan, C. A., y Meigh, J. (2007). Integration of the biophysical and social sciences using an indicator approach: Addressing water problems at different scales. *Water Resources Management*, 21(1), 111-128. doi: DOI 10.1007/s11269-006-9044-0
- Toledo, A. (2002). El agua en México y el Mundo. *Gaceta Ecológica*(64), 9-18.
- Valencia, V. J. C., Díaz, N. J. J., y Vargas, M. L. (2004). La gestión integrada de los recursos hídricos en México: un nuevo paradigma en el manejo del agua. In H. Cotler (Ed.), *El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental* (Segunda ed., pp. 213-258). México: Instituto Nacional de Ecología.