

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y
AMBIENTALES



Medidas de adaptación a impactos del cambio climático ante la vulnerabilidad hídrica en Jalisco

Trabajo de titulación en la modalidad de:

Tesis profesional

para obtener el título de:

Licenciada en Biología

Presenta:

Fabiola Giovana Amaya Acuña

Director de Tesis:

Arturo Curiel Ballesteros

Las Agujas, Zapopan, Jalisco. México.

Septiembre, 2014



Universidad de Guadalajara

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Coordinación de Carrera de la Licenciatura en Biología

COORD-BIO-138/2012

**C. FABIOLA GIOVANA AMAYA ACUÑA
PRESENTE**

Manifiestamos a usted, que con esta fecha, ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de **TESIS E INFORMES** opción: **TESIS**, con el título "**Medidas de adaptación a impactos del cambio climático ante la vulnerabilidad hídrica en Jalisco**", para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos, que ha sido aceptado como director(a) de dicho trabajo al **Dr. Arturo Curiel Ballesteros**.

Sin más por el momento, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"

Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jalisco, el 15 de agosto, del 2012.



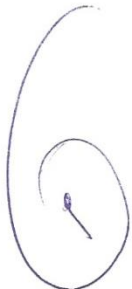
DRA. TERESA DE JESUS ACEVES ESQUIVIAS
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN
COORDINACIÓN DE LA CARRERA DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA

Verónica Palomera Gu
M.C. VERÓNICA PALOMERA AVALOS
SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

Dra. Georgina Adriana Quiroz Rocha.
 Presidente del Comité de Titulación.
 Licenciatura en Biología.
 CUCBA.
 Presente



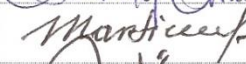

Nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad **Tesis o informes** opción **tesis** con el título: "**Medidas de adaptación a impactos del cambio climático ante la vulnerabilidad hídrica en Jalisco**" que realizó la pasante **Fabiola Giovana Amaya Acuña** con número de código **005276349** consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión.

Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.



Dr. Arturo Curiel Ballesteros
 Director del trabajo

Atentamente
 Las Agujas, Zapopan, Jal., 14 de julio de 2014.

Nombre completo de los Sinodales asignados por el Comité de Titulación	Firma de aprobado	Fecha de aprobación
Dr. Roberto Maciel Flores		25/08/14
Dra. María Guadalupe Garibay Chávez		14/07/14
Dra. Valentina Davydova Belipskaya		25-8-14
Dr. José Ariel Ruíz Corral		19/08/14

COMITE DE
 TITULACION




 25/08/2014

Dedicatorias

*A mi familia, en especial a mi Madre por
darme la vida.*

*A los que me han acompañado en este camino,
los que siempre estuvieron,
los que se integraron y
los que se fueron.*

*A los que han festejado conmigo la
libertad de pensamiento.*

“La telaraña no depende sólo del esfuerzo de la araña.”
Proverbio chino

Agradecimientos

Al COECYTJAL, por el apoyo financiero durante esta investigación vinculada al Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Jalisco (PEACC-Jalisco).

Agradezco al Dr. Arturo Curiel, por invitarme a participar en este proyecto y creer en mi trabajo, por aceptar ser el director de esta tesis, contribuyendo con sus conocimientos y experiencia a la elaboración de esta investigación: siempre dirigiendo nunca mandando. Por permitir que las sesiones de trabajo estuvieran abiertas al diálogo y fueran un nutritivo intercambio de ideas. Gracias profe, por ser el Maestro que guiara esta investigación.

Gracias a los sinodales por la precisa contribución a esta investigación: Dr. Roberto Maciel, Dra. Guadalupe Garibay, Dra. Valentina Davydova y Dr. Ariel Ruíz.

A los Maestros que enseñan a pensar, no a obedecer, los que respetan la ideología de sus estudiantes, pude encontrar a algunos en este camino. En especial a los Maestros: Arturo Curiel, Gustavo Moya, Miguel Carbajal, Miguel Magaña y Rodrigo Castellanos[†], les agradezco sus consejos, enseñanzas y por desarrollar en mí un pensamiento crítico.

El agradecimiento fuera de lo académico es para las mujeres que amo: Gabriela, Cinzia, Dulce y Brianda, Madre y hermanas: el desarrollo de esta tesis fue un proceso también complejo para ustedes, gracias por soportar mis días y noches. También a mi Padre que en estos últimos años se convirtió en mi ‘compa’, a mi hermano Rodrigo y su hermosa familia.

Gracias a mis amigos Nalle, Mony, Quique, Raúl y Leo, por compartir su tiempo conmigo, fueron pequeñas y lindas distracciones, gracias por las risas, pero también por algunos enojos que terminaron en un abrazo.

“Gracias a la vida, que me ha dado tanto”.

Índice

1. Resumen	1
2. Introducción.....	2
3. Antecedentes	4
4. Marco Teórico	7
4.1. Cambio climático.....	9
4.1.1. Escenarios de cambio climático.....	10
4.2. Vulnerabilidad	11
4.2.1. Vulnerabilidad hídrica.....	12
4.3. Amenaza	13
4.4. Sequía.....	13
4.5. Escasez de agua	14
4.6. Balance hídrico	14
4.7. Caudal ecológico.....	15
4.8. Disponibilidad de agua per cápita.....	16
4.9. Usos del agua	16
4.10. Huella hídrica.....	17
4.11. Desafíos del sector hídrico.....	18
4.12. Seguridad hídrica	20
4.13. Nueva Cultura del Agua.	20
4.14. Adaptación	21
4.14.1. Adaptación basada en los ecosistemas	22
5. Planteamiento del problema	23
6. Justificación.....	25
7. Hipótesis	26
8. Objetivos	27
8.1 Objetivo general.....	27
8.2 Objetivos específicos	27

9. Materiales y Métodos	28
9.1 Zona de estudio.	28
9.2. Método de investigación	33
9.2.1 Caracterización del territorio.....	33
9.2.2. Diagnóstico del territorio	39
9.2.3. Identificación de las posibles medidas de adaptación que disminuyan la vulnerabilidad hídrica en Jalisco.	48
9.2.4. Evaluación de las medidas de adaptación	49
10. Resultados	54
11. Discusión	95
12. Conclusiones	102
13. Bibliografía.....	104

1. Resumen

La planificación y manejo del recurso hídrico, aún con la presencia de incertidumbre en la disponibilidad del agua, constituyen un elemento esencial para la seguridad en producción de alimentos y para satisfacer las necesidades básicas de consumo de agua humano; en este sentido, fenómenos como la sequía y aumento de temperatura intensificados por cambio climático, condicionan niveles de demanda y oferta hídrica en sistemas productivos. Un primer eslabón del proceso de adaptación al cambio climático es reconocer la vulnerabilidad del territorio; correspondiendo a lo anterior, se realizó una primera aproximación del diagnóstico del territorio de Jalisco con una evaluación de vulnerabilidad hídrica a través del análisis de relación oferta y demanda de agua de los principales sectores involucrados en su uso, por subcuencas hidrográficas que se encuentra parcial o totalmente en la entidad federativa: ganadería de bovino de leche y carne, agricultura y el abastecimiento de agua para necesidades básicas de la población humana; cabe señalar que Jalisco es reconocido a nivel nacional por su alta productividad de alimentos básicos.

En el estudio, se identificó a la Región Altos Norte con mayor vulnerabilidad hídrica en Jalisco, siendo consecuente su estatus de región prioritaria para la adaptación, contrastando así la probabilidad que proyecta el escenario tendencial de colapso del sistema. Además, se identifican a la subcuencas donde se encuentra la urbanización y expansión de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) como prioritarias, debido al nivel de exposición de los habitantes, dado que concentra más del 60% de la población total de Jalisco.

A manera de propuesta, se reconoce a las medidas de adaptación relacionadas con restaurar los servicios ecosistémicos y un involucramiento social a partir de un cambio cultural respecto al manejo del agua, como las mejores opciones, de acuerdo a los criterios de evaluación: efectividad, tiempo, cobeneficios, presiones al ambiente y compatibilidad social; con el objetivo de disminuir la vulnerabilidad hídrica de los sectores y aumentar la resiliencia de los ecosistemas, acciones necesarias para enfrentar la amenaza de sequía.

Palabras clave

Alimentos, Cambio climático, Urbanización, Vulnerabilidad hídrica, Adaptación, Jalisco.

2. Introducción

El interés por realizar la presente investigación, nace de la necesidad de generar la información que permita conocer la condición de vulnerabilidad hídrica de Jalisco, para implementar las acciones de adaptación en aquellas regiones prioritarias, ya que en la actualidad, existe un aprovechamiento desmedido de los recursos naturales con una consecuente degradación de los servicios ecosistémicos, que en lo particular, la diversidad física y biológica de Jalisco, en una condición de equilibrio brindaba al sistema importantes servicios ecosistémicos, que permitían la realización de las actividades humanas con pocas limitaciones; sin embargo, actualmente como consecuencia de esta degradación, ya se está viviendo una escasez de agua, causada principalmente por la sobreexplotación de aguas superficiales y subterráneas, la deforestación y la degradación de suelos, lo cual disminuye la capacidad de almacenar humedad.

De esta manera, el actual modelo de desarrollo ha tenido un fuerte impacto en el medio ambiente, por la presente concepción bajo la cual se desarrollan, esto es, que los recursos son renovables e ilimitados, ignorando que el subsistema natural tiene una capacidad de carga, un límite que, al ser sobrepasado proyecta un escenario tendencial de colapso del sistema, lo cual va a favorecer al subsistema natural, pues disminuida la presión permitirá que éste tienda a recuperar las condiciones de un estado en equilibrio; sin embargo, este colapso tendrá un impacto negativo en las actividades productivas que se desarrollan, al no haber sustento que permita su realización. Situación que debe atenderse ahora, pues de acuerdo a los datos de la SAGARPA (2013), Jalisco ocupa el primer lugar a nivel nacional de producción de varios productos básicos y estratégicos, como lo son: maíz y leche de vaca.

Por lo anterior, es que se ha decidido trabajar con el diagnóstico del territorio de Jalisco a nivel de subcuenca (un límite natural del territorio, que nos permite tener una mejor aproximación de los recursos disponibles y de las demandas existentes) realizando una evaluación del balance hídrico y vulnerabilidad hídrica; en los cuales interactúan los recursos disponibles y las presiones sobre éstos (tanto de origen natural como

antropogénico), con el objetivo de identificar a aquellas subcuencas hidrográficas prioritarias para efectuar medidas de adaptación.

Además de considerar las presiones antropogénicas, se deben integrar los escenarios de cambio climático que, siendo su ritmo una consecuencia de las actividades humanas, sus efectos están ya presentes y las proyecciones a futuro advierten de la agudización de esta condición de vulnerabilidad y la baja disponibilidad de recursos naturales. Esta investigación, se limita a una comparación de la situación actual (de acuerdo al diagnóstico realizado) con los escenarios A2 del PEACC-Jalisco (Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Jalisco) de precipitación y temperatura.

La importancia de esta investigación reside en que no se ha realizado este tipo de estudios para el Estado de Jalisco y el desarrollo de esta investigación ha sido vinculado desde su inicio con el PEACC-Jalisco, por lo que, la pretensión al realizar el diagnóstico hídrico de Jalisco e integrar la propuesta de medidas de adaptación, es que el estudio pueda servir como un instrumento para la formulación de estrategias para la adaptación al cambio climático.

3. Antecedentes

En 1992, se celebró en Rio de Janeiro la Cumbre de la Tierra, en la cual 172 gobiernos, incluidos 108 Jefes de Estado y de Gobierno, aprobaron tres acuerdos: la Agenda 21, un plan de acción mundial para promover el desarrollo sostenible; la Declaración de Rio sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, un conjunto de principios en los que se definían los derechos civiles y obligaciones de los Estados; y una Declaración de principios relativos a los bosques y una serie de directrices para la ordenación más sostenible de los bosques en el mundo. Además, se abrieron a la firma dos instrumentos: la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el Convenio sobre la Diversidad Biológica (Naciones Unidas, 1997).

A partir de la firma de la CMNUCC 1992, se reconoce que los cambios del clima de la Tierra y sus efectos adversos son una preocupación común de toda la humanidad y se requiere de la cooperación y participación de todos los países; además se establecen los primeros lineamientos para la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, a un nivel que la actividad antropogénica no interfiera en el sistema climático (Naciones Unidas, 1992).

Los artículos 4° y 6° de la CMNUCC, establecen que las Partes promoverán y facilitarán, en el plano nacional y, según proceda, en los planos subregional y regional, de conformidad con las leyes y reglamentos nacionales y según su capacidad: la elaboración y aplicación de programas de educación y sensibilización del público sobre el cambio climático y sus efectos; el acceso a la información; la participación pública en el estudio y elaboración de las respuestas adecuadas; y la formación de personal científico, técnico y directivo (Naciones Unidas, 1992).

Las medidas para hacer frente al cambio climático alcanzarán su máxima eficacia en los planos ambiental, social y económico si se basan en las consideraciones pertinentes de orden científico, técnico y económico, revaluando continuamente a la luz de los nuevos descubrimientos en la materia. Se reconoce que estas medidas pueden justificarse económicamente por sí mismas y pueden ayudar también a resolver otros problemas ambientales. Las respuestas al cambio climático deberán coordinarse de manera integrada

con el desarrollo social y económico, evitando efectos adversos sobre este último (Naciones Unidas, 1992).

México, al ser un país en desarrollo, en esta Convención forma parte de los ‘países no incluidos en el Anexo I’ y no tiene compromisos cuantitativos de reducción de emisiones; sin embargo, comparte los aplicables a todas las Partes de ésta, para cumplir con ellos realiza diversas actividades, entre las que se encuentran la elaboración de documentos de planeación a nivel nacional como estatal y las comunicaciones nacionales de México con sus respectivos inventarios de emisiones (SEMARNAT, 2010).

La Presidencia de la República presentó en 2013 la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC, 2013), la cual es un instrumento que prevé medidas de adaptación y de mitigación a los efectos de cambio climático, articuladas en ocho ejes de acción:

- PRIMERO. Reducir la vulnerabilidad al cambio climático de los mexicanos que viven en situación de riesgo, así como fortalecer su capacidad de adaptación.
- SEGUNDO. Disminuir la vulnerabilidad de los sistemas productivos y de la infraestructura estratégica ante contingencias climatológicas.
- TERCERO. Fomentar la capacidad de adaptación de los ecosistemas a los efectos del calentamiento global.
- CUARTO. Acelerar la transición energética hacia fuentes de energía limpia.
- QUINTO. Reducir la intensidad de consumo energético, mediante esquemas de eficiencia y racionalidad.
- SEXTO. Transitar a modelos de ciudades sustentables, con sistemas de movilidad inteligentes, gestión integral de residuos y edificaciones de baja huella de carbono.
- SÉPTIMO. Impulsar mejores prácticas agropecuarias y forestales, con esquemas de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (los llamados REDD+).
- OCTAVO. Disminuir las emisiones de contaminantes de “vida corta”, como el carbono negro y el metano, para mejorar la salud y bienestar de los mexicanos.

La inclusión de la temática de cambio climático en la planeación nacional responde a la vulnerabilidad que presenta México por su ubicación geográfica, los mayores efectos del cambio climático en el mundo se han registrado en latitudes altas y medias, México se encuentra en parte en estas últimas, con una extensa superficie de zonas semiáridas. El

incremento de amenazas hidrometeorológicas (inundaciones y sequías) convierte a la disponibilidad de agua en un elemento de seguridad nacional. El actual gobierno mexicano corresponde a esta condición de vulnerabilidad al cambio climático vinculado a la disponibilidad de agua en el país con la creación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (antes mencionada) y el Programa Nacional Hídrico 2014-2018, en este último, se reconoce al agua como un recurso escaso, estratégico y a la vez fundamental para respaldar el crecimiento económico y social, considerándolo de importancia vital para la seguridad nacional (Gobierno de la República, 2014; IPCC, 2007a; Magaña 2001).

A escala estatal, se desarrolló el Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Jalisco (PEACC-JAL), instrumento que permitirá definir las políticas públicas así como las acciones estatales y municipales que están relacionadas al cambio climático (Alcocer *et al.*, 2011). Los resultados del PEACC-JAL, demuestran que Jalisco es vulnerable a los efectos de cambio climático de acuerdo a los escenarios A2, los cuales según el IPCC (2000) representan un rápido crecimiento de la población, sumado a unos aumentos menos rápidos de la productividad agraria, determinan un crecimiento rápido y continuo de emisiones de metano y óxido nitroso. A partir de estas condiciones fueron generados los escenarios de precipitación y temperatura, los cuales proyectan que en el periodo 2040-2069, las precipitaciones tendrán un comportamiento de mayor intensidad y con periodos de estiaje más prolongados. Por otro lado, la temperatura media anual se verá incrementada, lo cual representa una amenaza a los sectores productivos desarrollados en las regiones semiáridas, pues a mayor temperatura mayor demanda de agua de las especies (Ramos *et al.*, 2014).

Las siguientes figuras representan los escenarios generados por el Grupo de adaptación del PEACC-Jalisco.

En la Figura 1 y 2, se muestra las condiciones de precipitación de los periodos 1961-1990 y 2040-2069, con mayores niveles de precipitación anual

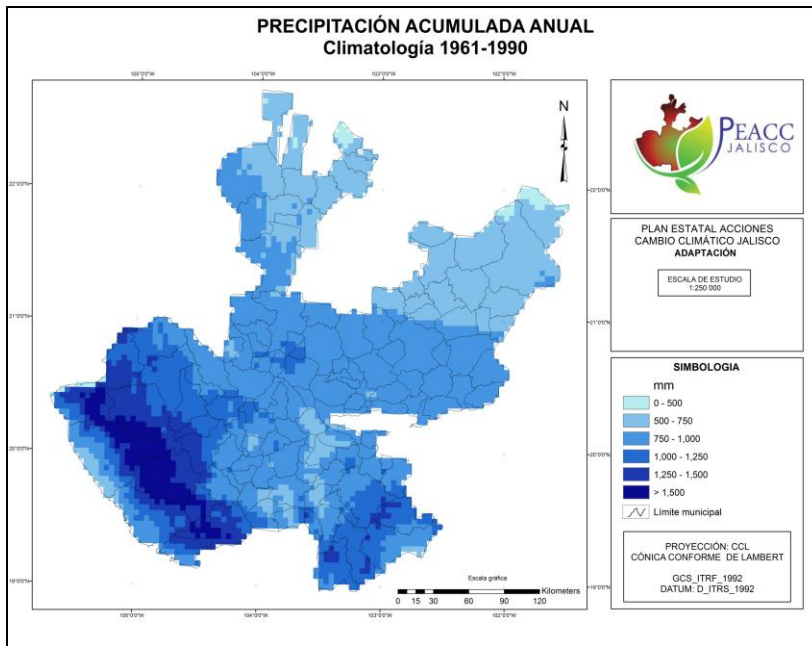


Figura 1. Precipitación Acumulada Anual. Climatología 1961-1990. Escenario A2.

Fuente: Ramos, S. L., G. Ramírez y A. Curiel, (2014). Los futuros del clima en Jalisco.

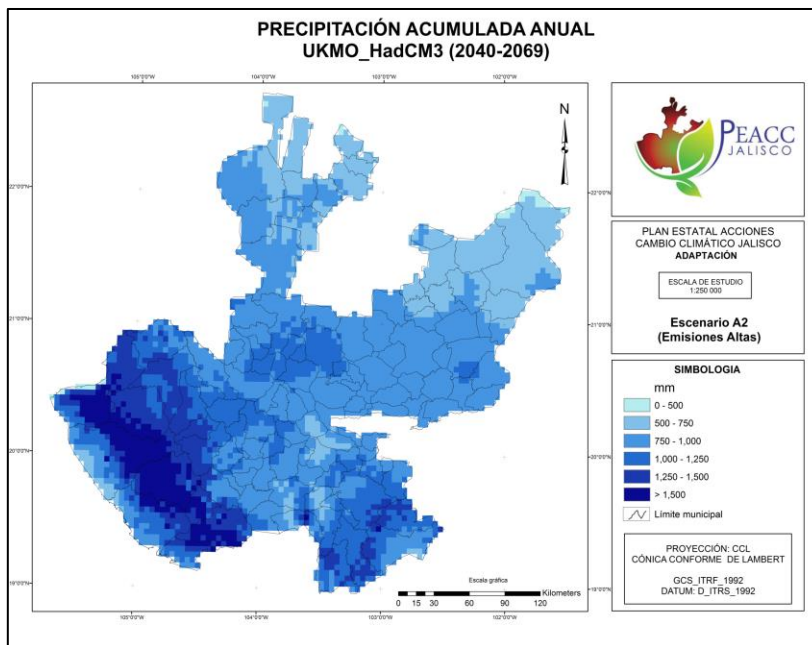


Figura 2. Precipitación Acumulada Anual 2040-2069. Escenario A2.

Fuente: Fuente: Ramos, S. L., G. Ramírez y A. Curiel, (2014). Los futuros del clima en Jalisco.

En las Figuras 3 y 4, hacen referencia a la Temperatura Media Anual, para los períodos 1961-1990 y 2040-2069 en un escenario A2, siendo evidente el incremento de temperatura media anual en todo el Estado.

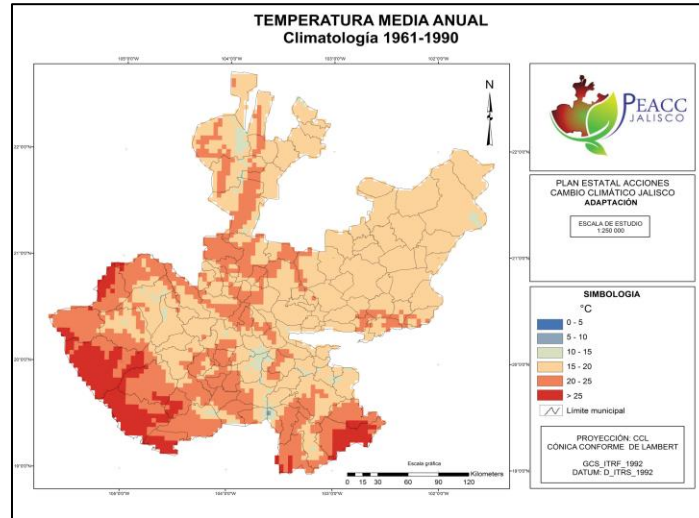


Figura 3. Temperatura Media Anual. Climatología 1961-1990. Escenario A2.

Fuente: Ramos, S. L., G. Ramírez y A. Curiel, (2014). Los futuros del clima en Jalisco.

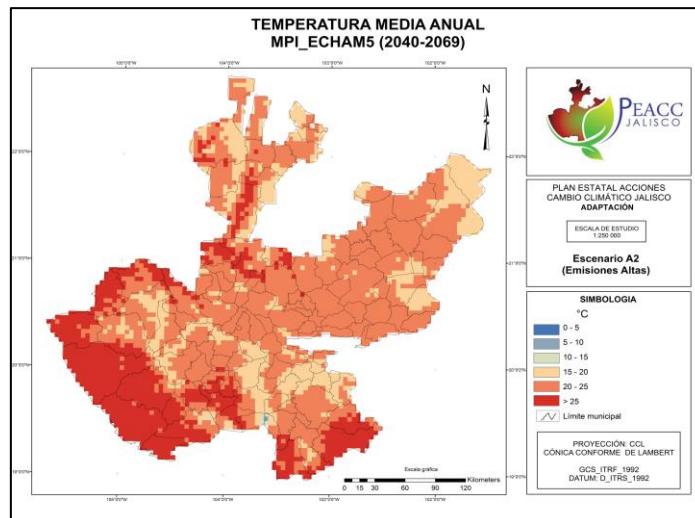


Figura 4. Temperatura Media Anual (2040-2069). Escenario A2.

Fuente: Ramos, S. L., G. Ramírez y A. Curiel, (2014). Los futuros del clima en Jalisco.

4. Marco Teórico

4.1. Cambio climático.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), define al cambio climático como la variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso de la tierra. La CMNUCC, en su Artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (IPCC, 2013).

El último informe del IPCC (2013), presenta una mayor evidencia de que los cambios en el sistema climático se deben a la influencia de la actividad antropogénica, contribuyendo sustancialmente en el aumento de la temperatura desde mediados del siglo 20.

El agua es el principal medio a través del cual el cambio climático afecta a los ecosistemas de la Tierra y, por tanto, a la vida y al bienestar de las personas (Dookie, 2009). Lo anterior se observa cuando los fenómenos hidrometeorológicos como las inundaciones y sequías cada vez más frecuentes y severas, dañan directamente la infraestructura, vivienda y producción de alimentos, al mismo tiempo a la economía, a consecuencia del aumento a los precios en productos agrícolas y a su vez de los generados por las industrias que dependen de éstos; la salud y el empleo son otros factores que se ven impactados por estos acontecimientos. Según los aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, es probable que incrementen las zonas afectadas por sequías y los fenómenos de precipitaciones extremas, el aumento en intensidad y frecuencia tendrá implicaciones en el desarrollo sostenible (Parry *et al.*, 2007). Sin embargo, en el último informe del IPCC (2013), se advierte de la poca confianza sobre la tendencia de sequías a

escala mundial, por la falta de observaciones directas. Siendo así, las incertidumbres modeladas a una escala regional de gran importancia.

4.1.1. Escenarios de cambio climático.

De acuerdo al Informe Especial del IPCC, Escenarios de Cambio Climático (IPCC, 2000), las emisiones futuras de gases de efecto invernadero (GEI) son el producto de muy complejos sistemas dinámicos, determinado por fuerzas tales como el crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico o el cambio tecnológico. Los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro, y constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes en las emisiones futuras, y para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis, son de utilidad para el análisis del cambio climático, y en particular para la creación de modelos del clima, para la evaluación de los impactos y para las iniciativas de adaptación y de mitigación. Asimismo para describir de manera coherente las relaciones entre las fuerzas determinantes de las emisiones y su evolución, y para añadir un contexto a la cuantificación de los escenarios, el IPCC (2000), desarrolló cuatro líneas evolutivas diferentes:

- *La línea evolutiva y familia de escenarios A1.* Describe un mundo futuro con un rápido crecimiento económico, una población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados del siglo y disminuye posteriormente, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Sus características distintivas más importantes son la convergencia entre regiones, la creación de capacidad y el aumento de las interacciones culturales y sociales, acompañadas de una notable reducción de las diferencias regionales en cuanto a ingresos por habitante. La familia de escenarios A1 se desarrolla en tres grupos que describen direcciones alternativas del cambio tecnológico en el sistema de energía. Los tres grupos A1 se diferencian en su orientación tecnológica: utilización intensiva de combustibles de origen fósil (A1FI), utilización de fuentes de energía no de origen fósil (A1T), o utilización equilibrada de todo tipo de fuentes (A1B).

- *La familia de líneas evolutivas y escenarios A2.* Describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy

lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

- *La familia de líneas evolutivas y escenarios B1.* Describe un mundo convergente con una misma población mundial que alcanza un máximo hacia mediados del siglo y desciende posteriormente, como en la línea evolutiva A1, pero con rápidos cambios de las estructuras económicas orientados a una economía de servicios y de información, acompañados de una utilización menos intensiva de los materiales y de la introducción de tecnologías limpias con un aprovechamiento eficaz de los recursos. En ella se da preponderancia a las soluciones de orden mundial encaminadas a la sostenibilidad económica, social y medioambiental, así como a una mayor igualdad, pero en ausencia de iniciativas adicionales en relación con el clima.

- *La familia de líneas evolutivas y escenarios B2.* Describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Es un mundo cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios, y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las líneas evolutivas B1 y A1. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional.

4.2. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad está definida por el IPCC (2007a) como: “Grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación.” Otra definición de vulnerabilidad a considerar en este estudio es la realizada por Cardona y Sarmiento (1989), quienes la definen como un factor de riesgo interno de un sujeto o elemento expuesto a una amenaza que corresponde a su predisposición intrínseca a ser afectado o de ser susceptible a sufrir una pérdida; donde

el sujeto amenazado es aquel que compone el contexto social y material de una comunidad, como los habitantes y sus características, la actividad económica, los servicios públicos, etc. El carácter selectivo de la severidad de los daños causados por un evento sobre el grupo de elementos expuestos es consecuencia de la diferencia de la vulnerabilidad de los mismos.

Considerando lo anterior, cabe resaltar a una conclusión del quinto informe del IPCC (2013), donde apunta que las personas, las sociedades y los ecosistemas son vulnerables en todo el mundo a los efectos del cambio climático, pero la vulnerabilidad es diferente en diversos lugares. Congruente con lo anterior, en la Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (INECC, 2012), se identifica al diagnóstico de la vulnerabilidad como un elemento clave para proyectar impactos y, por lo tanto, es un paso previo indispensable en el diseño de políticas públicas de adaptación.

4.2.1. Vulnerabilidad hídrica

En esta investigación es necesario precisar que en términos de vulnerabilidad hídrica, el impacto del cambio climático sobre el agua depende de los cambios en volumen y calidad de los flujos superficiales y subterráneos, de las descargas de agua de dichas corrientes, así como de la demanda y nivel de extracción para uso humano. Por lo que es importante identificar las zonas con recursos hídricos más vulnerables al cambio climático. En México, se ha reconocido que las regiones más vulnerables son el centro del país y la cuenca Lerma-Chapala, coincidiendo con ser las más pobladas (SEMARNAT, 2010). El balance entre la demanda y la oferta de los recursos hídricos, permite determinar excesos o deficiencias, con los cuales se puede definir la vulnerabilidad. Es decir que la vulnerabilidad se traduce en estimar en qué grado la demanda de agua es satisfecha (Comité Nacional sobre el Clima, 2001).

4.3. Amenaza

Otro elemento importante definir es la amenaza, que de acuerdo a Lavell (2003), es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno físico de origen natural, socio-natural o antropogénico, que puede manifestarse con un cierto grado de severidad y durante un período determinado, produciendo efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios. Otra definición que podemos encontrar dentro de la literatura es de Cardona *et al.* (1989) que hace mención de la amenaza como un factor de riesgo físico externo a un elemento o grupo de elementos sociales expuestos, que se expresa como la probabilidad de que un fenómeno se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un periodo de tiempo definido.

4.4. Riesgo

De acuerdo a Cardona *et al.* (1989) el riesgo es definido como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias socio-económicas en un sitio determinado y en un cierto periodo de tiempo. El cual se obtiene al relacionar la amenaza o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno con una intensidad específica, con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

4.5. Sequía

Según Heim (2002) la sequía puede definirse como una “ausencia prolongada o insuficiencia acentuada de precipitación”, o bien una “insuficiencia que origina escasez de agua para alguna actividad o grupo de personas”, o también “un período de condiciones meteorológicas anormalmente secas suficientemente prolongado para que la ausencia de precipitación ocasione un importante desequilibrio hidrológico”. Otros que han definido a la sequía son Wilhite y Glantz (1985), clasificándola en cuatro tipos básicos de enfoque: *sequía meteorológica*, está en función de la comparación de los valores medios del grado y periodo de tiempo en la disponibilidad de agua atmosférica; *sequía hidrológica*, está asociada a la disponibilidad de recursos en el sistema hidrológico, es decir, agua superficial y subterránea; *sequía agrícola*, ocurre cuando no hay suficiente humedad en el suelo para satisfacer las necesidades de los cultivos; por último la *sequía socioeconómica*, ocurre

cuando la demanda de agua de un grupo social, en un lugar determinado excede el suministro, es una combinación entre disminución de la precipitación y el crecimiento de las necesidades de la población o de las actividades productivas, de la eficiencia en el uso del agua y de la tecnología disponible. Por lo tanto, los primeros tres, son parte de un fenómeno físico con regulación natural y el cuarto tipo de sequía, está en términos de oferta y demanda, así como el efecto del déficit hídrico en los sistemas socioeconómicos.

4.6. Escasez de agua

De acuerdo al informe presentado por la Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (AIDA), el más grave de los impactos del cambio climático es la escasez de agua potable en América Latina (Cushing *et al.*, 2011). En México, el mayor riesgo se debe a la distribución espacial del recurso hídrico y de la población, dado que en las zonas norte, centro y noroeste se concentra el 77% de la población pero dispone del 31% de agua, mientras que en la zona sur y sureste habita el 23% de la población y dispone del 69% de este recurso (CONAGUA, 2010a, Magaña *et al.*, 2001).

En Jalisco, estudios recientes muestran que las zonas más pobladas presentan un déficit en la disponibilidad de agua, de tal manera que si continúan las tendencias actuales de aprovechamiento, se incrementarán los costos para satisfacer la demanda y el riesgo de conflictos entre los diversos usos (CONAGUA, 2009c).

4.7. Balance hídrico

El balance hídrico, es la diferencia en un tiempo determinado entre las entradas y salidas de agua. Las entradas en la ecuación del balance hídrico comprenden la precipitación, las aguas superficiales y subterráneas recibidas dentro de la cuenca de agua. Las salidas incluyen la evaporación y la salida de corrientes de agua superficial y subterránea desde la cuenca; para su aplicación a ciertos cálculos, la ecuación del balance hídrico podrá simplificarse o hacerse más compleja, dependiendo de los datos disponibles (UNESCO, 1981).

Cuando los datos disponibles de precipitación, evaporación y escurrimiento son muy pocos o no existen, pueden ser útiles mapas regionales y atlas de valores medios de estos elementos (Nordenson, 1968; GUCK y Academia de Ciencias de las URSS, 1964; Rainbird, 1967; Sokolov, 1968 y WMO, 1970). Siendo necesario para el cálculo del balance hídrico, que los mapas de precipitación anual, evaporación y escurrimiento sean ajustados a la ecuación simplificada del balance hídrico (GUGK y Academia de Ciencias de la URSS, 1964): $P - E - Q = 0$

Donde

P: Precipitación

E: Evaporación

Q: Escurrimiento

4.7.1. Déficit hídrico

Para esta investigación, se empleará el término de *déficit hídrico* definido por Matveev (1984) como: “la cantidad de agua que falta para igualar toda la que la atmósfera puede contener en estado de vapor, y la que realmente está a su alcance”.

4.8. Caudal ecológico

El caudal ecológico establece la calidad, cantidad y régimen del flujo de agua requerido para mantener los componentes, funciones, procesos y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos que proporcionan bienes y servicios a la sociedad (WWF, 2010). Alineado con la definición anterior, a nivel federal en la Ley de Aguas Nacionales, en el artículo 3, fracción LIV, está integrado el "Uso Ambiental" o "Uso para conservación ecológica", definido como: El caudal o volumen mínimo necesario en cuerpos receptores, incluyendo corrientes de diversa índole o embalses, o el caudal mínimo de descarga natural de un acuífero, que debe conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema.

4.9. Disponibilidad de agua per cápita

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), emplea un indicador para dimensionar el volumen disponible en una cuenca, la “Disponibilidad per cápita”, el cual se obtiene de dividir la disponibilidad entre el número de habitantes de una cuenca, para obtener el volumen de agua que, por año, correspondería a cada uno de ellos. De acuerdo con los resultados obtenidos por esta Comisión en el análisis con el Censo 2005 de Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), la cuenca Medio y Bajo Lerma, Alto Santiago y Balsas tienen un grado de disponibilidad “Muy Baja” (1,000 o menos m³/hab/año); para el caso de Costa de Michoacán, “Baja” (1,000-5,000 m³/hab/año); en las cuencas Bajo Santiago y Costa de Jalisco, una disponibilidad “Mediana” (5,000-10,000 o menos m³/hab/año) (CONAGUA, 2009c).

Para el caso de la población en Jalisco, en el último Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010), el registro fue de 7' 350, 682 habitantes, el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2008) en la predicción de población 2005-2030 obtuvo para el año 2030, 7'787,954 habitantes, el incremento poblacional demandará mayores recursos naturales, para lo cual probablemente no estemos preparados.

4.10. Usos del agua

A nivel mundial, unos 300 millones de hectáreas de tierras agrícolas son de regadío, lo que representa el 70% del consumo total de agua dulce, una caloría de alimento requiere un litro de agua. Con una media mundial de 2,800 calorías por persona al día, se requieren 2,800 litros de agua para satisfacer las necesidades alimentarias diarias de cada individuo en el planeta (FAO, 2011).

De acuerdo al Programa Hídrico visión 2030 del Estado de Jalisco, el volumen concesionado para usos consuntivos para diciembre de 2007 en la entidad, sin incluir la generación de energía hidroeléctrica, era de 2,563.5 millones de metros cúbicos (Mm³), destinando el 56% al uso agrícola, 27% al público-urbano, 13% a otros usos y 4% al uso industrial. Las estrategias para garantizar la disponibilidad de agua se convierten imprescindibles para la seguridad alimentaria, dado que en los últimos años se regaron en Jalisco en promedio 186,809 hectáreas, con un volumen utilizado de 2,293.4 Mm³, del cual

el 18% provino de aguas subterráneas y el 82% de superficiales. Después del sector agrícola, el uso público-urbano es el de mayor importancia en el Estado con un volumen de 699.3 Mm³ anuales, el abastecimiento de este uso proviene en un 51.9% de fuentes superficiales y 48.1% de agua subterránea. Para el uso industrial se estima 100.2 Mm³, proveniente de aguas subterráneas el 81.6% y el 18.4% superficiales. La demanda estimada para uso pecuario es de 24.4 Mm³, 82% de origen subterráneo y 18% superficial. En la producción acuícola, la explotación comercial se realiza en cuerpos de agua mayores a las 100 hectáreas, aunque también en aquellos de pequeña extensión esta actividad se lleva a cabo para el autoconsumo o comercio pequeño, además en algunos de estos cuerpos se realizan actividades recreativas. Para el caso de uso hidroeléctrico, existen seis plantas con una capacidad efectiva total de 390 Megawatts. En la Subregión del Alto Santiago, son utilizados 8,811 Mm³ para la generación de energía eléctrica (CONAGUA, 2009c)

El consumo promedio de agua del mexicano son 360 litros diarios (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C.) y de acuerdo a Mendoza (2012), el caso específico del tapatío son 280 litros/día; por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2003) establece para satisfacer las necesidades básicas, un consumo de 50-100 litros y en algunos países como Alemania, Inglaterra y Francia utilizan entre 30 y 180 litros por habitante al día (Mendoza, 2012), de acuerdo al informe presentado por el Panel de Alto Nivel en Sustentabilidad Global, para el 2030, el incremento de las demandas de la población mundial será del 50% en comida, 45% en energía y 30% en agua (United Nations Secretary-General's High-level Panel on Global Sustainability, 2012).

4.11. Huella hídrica

Dentro de los usos del agua, un concepto que debe considerarse es el de huella hídrica definido por Hoekstra *et al.* (2011) como un indicador del uso de agua directo o indirecto de un consumidor o productor. La huella hídrica de un individuo, comunidad o empresa se define como el volumen total de agua dulce usada para producir los bienes y servicios consumidos por el individuo, comunidad o producidos por la empresa. El uso del agua se mide en términos de volúmenes de agua consumidos (evaporados o incorporados a un producto) y/o contaminados por unidad de tiempo. La *huella hídrica verde* es el volumen

de agua de lluvia consumida durante el proceso de producción. Esto es particularmente relevante para los productos agrícolas y forestales (productos a base de cultivos o de madera), donde se refiere a la evapotranspiración total de agua de lluvia (de los campos y las plantaciones) más el agua incorporada en la cosecha o de la madera. Por otro lado, la *huella hídrica azul* es el volumen de agua superficial y subterránea consumida como resultado de la producción de un bien o servicio. Consumo se refiere al volumen de agua dulce utilizada y luego se evapora o se incorpora en un producto. También incluye el agua superficial y subterránea extraída en una cuenca y reintegrada a otra zona de captación o el mar. En otras palabras, es la cantidad de agua extraída de las aguas subterráneas o las aguas superficiales que no es devuelta a la cuenca de la que se retiró.

4.12. Desafíos del sector hídrico

Como se mencionó en párrafos anteriores el sistema hídrico se verá afectado por el cambio global y regional, éstos acompañados por los riesgos y factores de incertidumbre intensificarán a los desafíos que ya presenta el sistema hídrico. Estos desafíos han sido identificados por la UNESCO (2012) y requieren ser enfrentados eficazmente bajo el manejo sustentable de los recursos hídricos, a continuación se presentan estos desafíos:

- *Desafíos técnicos:* estos hacen referencia a lograr identificar las medidas de adaptación apropiadas y oportunas bajo la comprensión completa de los procesos hidrológicos y sus relaciones con la atmósfera, la biósfera y la sociedad humana; la aplicación de técnicas adecuadas para la integración o asimilación de información; temas relativos al dimensionamiento y heterogeneidad; capacidades predictivas de procesos hidrológicos e interacciones y retroalimentación con los sistemas socio-ecológicos y estimación y comunicación de incertidumbre.
- *Desafíos institucionales:* refiere a la falta de coordinación institucional, la inexistencia de instituciones apropiadas en todos los niveles y la disfunción crónica en las disposiciones institucionales existentes.
- *Desafíos políticos:* uno de los mayores desafíos para mejorar la sustentabilidad y resiliencia de los sistemas hídricos es la ausencia de voluntad política, las políticas a corto plazo, la falta de liderazgo y compromiso políticos para destinar recursos

nacionales al sector o llevar a cabo las reformas necesarias para un abastecimiento básico de agua y saneamiento para todas las personas.

- *Desafíos financieros:* ampliar el acceso a los recursos hídricos exige recursos financieros para la propia ampliación, así como para la rehabilitación, mantenimiento y operación. Se requieren de nuevos modelos de financiamiento y análisis de costo-beneficio para garantizar la autosuficiencia y el uso sustentable de los recursos hídricos de parte de múltiples usuarios.
- *Desafíos en el ámbito de la información:* la toma de decisiones hidrológicas deben basarse en conocimientos actualizados de las ciencias hidrológicas, derivados de tecnologías apropiadas y una buena calidad de datos/información. En otro extremo, la proliferación de la información, particularmente en Internet, dificulta en ocasiones que un profesional o administrador no experimentado sea capaz de distinguir entre información adecuada, verdadera, de calidad y científicamente sólida, y la información inadecuada, falsa, de mala calidad y carente de bases científicas. Esto último implica un mayor desafío para la comunidad del agua y es un exhorto a estructurar sólidos mecanismos para la distribución de información bajo la guía y coordinación de profesionales y científicos experimentados.
- *Presiones del cambio futuro:* la mayor parte del *crecimiento poblacional urbano* ocurrirá en ciudades y poblados pequeños, particularmente en países de ingreso bajo y medio, con un promedio de 2.3% anual, con un tiempo de duplicación de treinta años. El crecimiento poblacional y la urbanización acelerada crearán presiones sobre los recursos hídricos, incrementarán los desafíos para el abastecimiento de agua segura y saneamiento básico y tendrán un impacto tremendo sobre el medio ambiente natural. El *deterioro de infraestructura* como la tubería en las ciudades y canales de irrigación en el campo implica altas tasas de fugas que resultan en grandes pérdidas de agua. El crecimiento económico representa un *desafío socioeconómico*, pues en muchos países en desarrollo se presentan altas tasas de crecimiento y se espera que esta tendencia continúe, este incremento en las condiciones de vida llevará a un incremento significativo en la demanda de recursos; la generación de desechos y emisiones aumentará, así como el riesgo de conflicto debido a escasez de recursos.

- Otro desafío son *las variaciones en el clima* a nivel global (eventos extremos como inundaciones y sequías) afectarán la disponibilidad de recursos hídricos y afectarán la calidad del agua en el futuro.

4.13. Seguridad hídrica

Vinculada al concepto de vulnerabilidad, el Programa Hidrológico Internacional, octava fase 2014-2021, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2012) ha definido a la seguridad hídrica como la capacidad de una determinada población para salvaguardar el acceso a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable, que permita sustentar tanto la salud humana como la del ecosistema, basándose en las cuencas hidrográficas, así como garantizar la protección de la vida y la propiedad contra riesgos relacionados con el agua: inundaciones, derrumbes, subsidencia de suelos y sequías.

4.14. Nueva Cultura del Agua

De acuerdo a la CONAGUA (2009b), por cultura del agua se entiende al proceso continuo de producción, actualización y transformación individual y colectiva de valores, creencias, percepciones, conocimientos, tradiciones, aptitudes, actitudes y conductas en relación con el agua en la vida cotidiana.

En esta investigación se integra la concepción europea de la Nueva Cultura del Agua, bajo la justificación de que ésta ha distinguido, categorizado y establecido prioridades, derechos y criterios de gestión del agua. El primero de ellos es agua para la vida (el *agua-vida*), en funciones básicas de supervivencia, tanto de los seres humanos (individual y colectivamente), como de los demás seres vivos en la naturaleza (sostenibilidad de los ecosistemas), debe ser reconocida como prioritaria y garantizada desde la perspectiva de los derechos humanos. El agua para actividades de interés general (el *agua-ciudadanía*), en funciones de salud pública y cohesión social, debe situarse en un segundo nivel de prioridad en conexión con los derechos sociales de ciudadanía y con el interés general de la sociedad. El agua para el crecimiento (el *agua-negocio*), en funciones económicas

legítimas, ligadas a actividades productivas, debe reconocerse en un tercer nivel de prioridad, en conexión con el derecho individual a mejorar el nivel de vida de cada cual (Arrojo, 2006).

4.15. Adaptación

El IPCC, ha descrito a la adaptación como “Iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados de un cambio climático. Existen diferentes tipos de adaptación; por ejemplo: preventiva y reactiva, privada y pública; por último, autónoma y planificada”. Definiendo a las medidas como aquellas tecnologías, procesos y prácticas que reducen sus efectos por debajo de los niveles futuros previstos (IPCC, 2007a). En el quinto informe del Grupo de Trabajo II del IPCC (2014) existe una distinción de tipos de adaptación:

- Adaptación de incremento: Las medidas de adaptación en el que el objetivo central es mantener la esencia y la integridad de un sistema o proceso a una escala determinada.
- Adaptación de transformación: Adaptación que cambia los atributos fundamentales de un sistema en respuesta al cambio climático y sus efectos.

Algunas opciones planteadas por el IPCC de adaptación en oferta y demanda del recurso hídrico son: en la oferta, están consideradas la prospección y extracción de aguas subterráneas, aumento de la capacidad de almacenamiento de los embalses y las presas de construcción, la expansión de almacenamiento de agua de lluvia, la desalación de agua de mar, la eliminación de especies invasoras no nativas de vegetación de las zonas ribereñas y la transferencia de agua. Las opciones de adaptación en la demanda engloba: la expansión del uso de los incentivos económicos incluyendo la medición y fijación de precios para fomentar la conservación del agua; ampliación del uso de los mercados de agua para reasignar el agua a usos de alto valor; promoción de las prácticas ancestrales para el uso sostenible del agua; la reducción de la demanda de agua (virtual) para el riego mediante la importación de productos agrícolas; la reducción de la demanda para el riego, cambiando el calendario de cultivo, la combinación de cultivos, método de riego y la superficie cultivada; y mejora de la eficiencia del uso mediante el reciclaje de agua (Kundzewicz *et al.*, 2007).

4.15.1. Adaptación basada en los ecosistemas

Es el uso de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos como parte de una estrategia global de adaptación para ayudar a la gente a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático. La adaptación basada en los ecosistemas usa la gama de oportunidades para la gestión sostenible, la conservación y restauración de los ecosistemas para proporcionar servicios que permitan a las personas adaptarse a los impactos del cambio climático. Su objetivo es mantener y aumentar la resiliencia, reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y la gente frente a los efectos adversos del cambio climático (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2009).

Ante cualquier medida de adaptación, se deben evaluar los posibles efectos adversos y, en particular, para el medio ambiente y la salud.

5. Planteamiento del problema

Jalisco está ubicado en el occidente de México, en una zona que le permite contar con una gran biodiversidad y amplios beneficios de servicios ecosistémicos: de soporte, ciclo del agua; regulación del clima y sequías; servicio de provisión de alimentos; servicios culturales, al presentar una diversidad cultural y la atribución de un valor espiritual y religioso a los ecosistemas o a sus componentes. El servicio de provisión de alimentos en el estado es de gran importancia dado que a nivel nacional, Jalisco está posicionado en el primer lugar en producción de leche de bovino, segundo lugar en producción de maíz grano de temporal y caña de azúcar. Otros elementos que favorecen la existencia de estos servicios son la existencia de una diversidad de relieves, suelos y vegetación que permite contar con variados climas, otorgando esta variedad una mayor superficie de transición en el territorio entre tipos de climas, lo que a su vez le confiere una vulnerabilidad ante sequías, que por cambio climático se prevé una mayor intensidad de este fenómeno, entendida como vulnerabilidad la resultante de una sensibilidad, exposición y resiliencia de los ecosistemas.

Esta vulnerabilidad se verá incrementada por el crecimiento y distribución poblacional, con lo que se tendrá una mayor demanda en los recursos naturales como el agua, aunada a la acelerada urbanización con una escasa planificación provocando en mayor o menor medida un deterioro ambiental; en las regiones semiáridas, el impacto del cambio climático sobre el balance hídrico tendrá una afectación directa sobre los sistemas productivos, pues se pronostica un incremento de la temperatura en el estado, por consiguiente un mayor nivel de demanda de agua, con la posibilidad de producir estrés hídrico en las especies. En esta posibilidad, Jalisco debe reconocer la vulnerabilidad hídrica del territorio, para desarrollar estrategias que involucren la innovación tecnológica e infraestructura con estrategias culturales y servicios del ecosistema, disminuyendo así la vulnerabilidad y aumentando su capacidad adaptativa desde los sectores productivos, las instituciones y las poblaciones humanas.

Estas estrategias deben incluir medidas de adaptación con una visión integral del sistema, es decir, que trascienda de la seguridad en la disponibilidad de agua para alcanzar la

compatibilidad con el subsistema social y natural, por lo que las medidas de adaptación formuladas para disminuir la vulnerabilidad hídrica de Jalisco necesitan ser evaluadas antes de su ejecución en las zonas con mayor predisposición a ser dañadas y logren enfrentar la amenaza a sequía.

Preguntas de investigación

¿Cuáles son las regiones de Jalisco que presentan las subcuencas hidrográficas con una mayor amenaza a sequía (con o sin intervención humana)?

¿Cuáles son las regiones de Jalisco con mayor vulnerabilidad hídrica con base al análisis de relación Demanda/Oferta de las subcuencas hidrográficas y cuáles son los sectores que están generando esta condición?

¿Cuáles son las mejores medidas de adaptación para afrontar la vulnerabilidad hídrica particular del territorio?

6. Justificación

Al realizar esta investigación, se identificaron las regiones que presentaban las subcuencas hidrográficas con mayor vulnerabilidad hídrica con base a la relación demanda/oferta, procediendo con la propuesta de acciones prioritarias para la adaptación al cambio climático como respuesta a la condición de vulnerabilidad; la importancia de este estudio radica en que dicho análisis no se ha realizado para el estado de Jalisco. En la actualidad, para disminuir la vulnerabilidad hídrica se han adoptado ciertas medidas que ponen en un lado de la balanza la disponibilidad del recurso y del otro la parte intangible, como lo es el aspecto social y ambiental, y resulta inadmisibles que una medida de adaptación se proponga sin haber realizado antes un análisis con base en los impactos ambientales, al factor social y beneficios, por lo tanto se deben de tomar en cuenta varias opciones de adaptación, analizarlas y elegir las que resulten más compatibles con el entorno social y natural.

Este trabajo, pretende responder a la exigencia de elegir las mejores medidas de adaptación frente a escenarios del cambio climático donde la oferta de agua se ve modificada negativamente y a la creciente demanda del recurso hídrico, a partir de la identificación de las regiones con mayor vulnerabilidad hídrica.

Por último, esta tesis se desarrolló articulada con el proyecto FOMIX Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC-JAL), por lo que los resultados permitieron identificar las regiones con mayor grado de vulnerabilidad hídrica y las mejores acciones de adaptación al cambio climático en torno al agua.

7. Hipótesis

Las mejores medidas de adaptación para enfrentar la vulnerabilidad hídrica en Jalisco, de acuerdo a los criterios comparativos de este estudio, son la restauración y conservación de los servicios ecosistémicos y aquellas involucradas con una cultura del agua.

8. Objetivos

8.1. Objetivo general

Diagnosticar la vulnerabilidad hídrica de las subcuencas hidrográficas de Jalisco, para realizar una propuesta de medidas de adaptación como respuesta a esta condición.

8.2. Objetivos específicos

Definir las subcuencas hidrográficas que actualmente presentan una mayor vulnerabilidad hídrica en Jalisco con base a la relación demanda/oferta de agua.

Identificar las posibles medidas de adaptación que disminuyan la vulnerabilidad hídrica en Jalisco.

Evaluar las medidas de adaptación para obtener las mejores opciones ante los escenarios del cambio climático.

9. Materiales y Métodos

9.1 Zona de estudio.

Demografía. Esta investigación considera como área de estudio al estado de Jalisco, el cual tiene una extensión de 78,588 kilómetros cuadrados (Km²), se localiza en el Occidente de México entre los 22° 45' - 18° 55' latitud N, 101° 28' - 105° 42' longitud O, con una importante franja costera al oeste, que establece los límites con el Océano Pacífico (INEGI, 2011a). El territorio estatal forma parte de la zona de transición de las regiones biogeográficas: neártica y neotropical (Halffter, 2003).

Aunque dos tercios de la población se concentran en la ZMG, el crecimiento poblacional no sólo existe en la Región Centro, sino que hay un incremento de la población en todas las regiones administrativas de Jalisco en el quinquenio 2005 - 2010, encabezando la lista, la Región Costa Norte con un incremento poblacional del 15.1% (ver Figura 5).

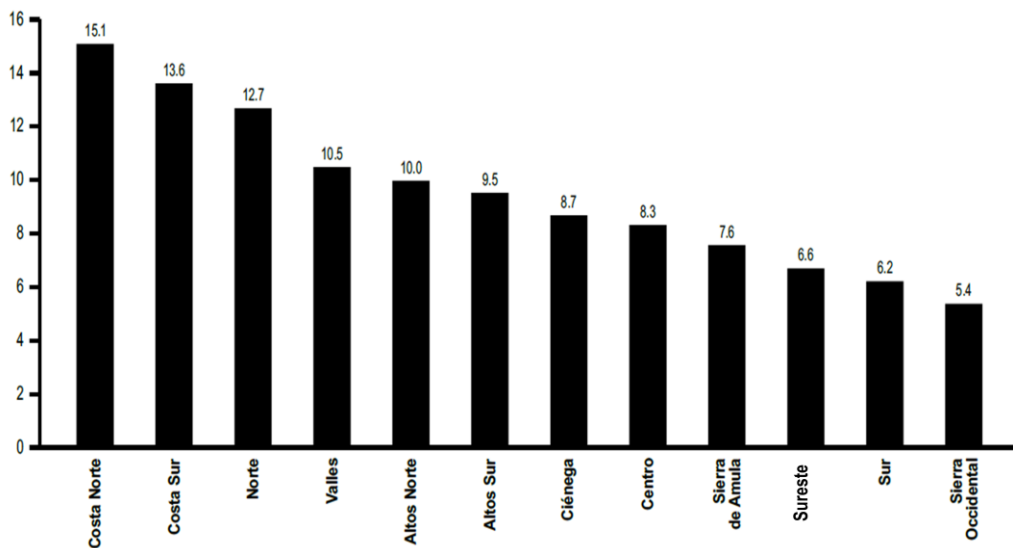


Figura 5. Cambio relativo de la población por Región. Jalisco, 2005-2010. Fuente: Elaborado por el Consejo Estatal de Población (2011) con base en INEGI; II Censo de Población y Vivienda 2005 y Censo de Población y Vivienda 2010.

Lo anterior contrasta con análisis de censos pasados, los cuales apuntan que desde 1990 las regiones Norte, Sureste y Sierra Occidental presentaban tasas de crecimiento poblacional

negativas. A pesar de este crecimiento, la Región Sureste y Sierra Occidental no han recuperado la población que presentaban en el censo de 2000 (ver Tabla 1) (COEPO, 2011).

Tabla 1. Población total y tasas de crecimiento promedio anual por Región. Fuente: Elaborado por el Consejo Estatal de Población (2011) con base en INEGI, censos y conteos nacionales.

Clave	Municipio	Población total						Tasa de crecimiento promedio anual				
		1950	1970	1990	2000	2005	2010	1950-1970	1970-1990	1990-2000	2000-2005	2005-2010
		1,746,777	3,296,586	5,302,689	6,322,002	6,752,113	7,350,682	3.29	2.39	1.79	1.17	8.9
01	Región Norte	69,535	72,590	77,948	76,002	69,932	78,835	0.22	0.35	-0.25	-1.46	12.7
02	Región Altos Norte	140,173	198,860	288,528	332,502	348,515	383,317	1.80	1.87	1.44	0.83	10.0
03	Región Altos Sur	182,979	218,123	291,829	346,262	350,694	384,144	0.90	1.46	1.74	0.22	9.5
04	Región Ciénega	197,216	287,562	396,176	454,088	463,039	503,297	1.94	1.61	1.38	0.34	8.7
05	Región Sureste	94,074	121,605	125,245	124,151	109,166	116,416	1.32	0.15	-0.09	-2.24	6.6
06	Región Sur	155,514	221,768	284,470	305,985	312,262	332,411	1.82	1.25	0.74	0.40	6.2
07	Región Sierra de Amula	70,263	85,704	92,529	94,700	88,912	95,680	1.02	0.38	0.23	-1.11	7.6
08	Región Costa Sur	51,518	104,104	139,824	155,723	149,967	170,427	3.65	1.48	1.09	-0.66	13.6
09	Región Costa Norte	20,970	57,703	150,353	228,190	261,200	300,760	5.29	4.88	4.29	2.41	15.1
10	Región Sierra Occidental	61,015	69,796	63,587	62,884	58,143	61,257	0.69	-0.46	-0.11	-1.37	5.4
11	Región Valles	148,916	222,204	276,662	311,341	312,567	345,438	2.06	1.10	1.20	0.07	10.5
12	Región Centro	554,604	1,636,567	3,115,538	3,830,174	4,227,016	4,578,700	5.66	3.25	2.10	1.75	8.3

Con relación a la dinámica demográfica a nivel municipio, cabe resaltar que: Guadalajara, a pesar de tener la mayor población en su territorio, es uno de los cinco municipios que destacan por la pérdida poblacional durante el quinquenio 2005-2010, con una pérdida de 106 mil habitantes. Caso contrario es Tlajomulco, municipio con el mayor crecimiento poblacional, al integrarse 197 mil habitantes, y pasar de 220 mil a 417 mil pobladores (COEPO, 2011).

Principales actividades productivas. De acuerdo a los datos publicados por la SAGARPA (2013), Jalisco es uno de los principales estados productores de alimentos, obteniendo en diferentes sectores los primeros lugares a nivel nacional de varios de los productos básicos y estratégicos que establece la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, en el Capítulo XVII, Artículo 179 los cuales son maíz, caña de azúcar, frijol, trigo, arroz, sorgo, café, huevo, leche, carne de bovinos, porcinos, aves y pescado; de los mencionados Jalisco es primer productor de los siguientes alimentos (SAGARPA, 2013):

Agricultura: Primer productor de maíz forrajero con una producción de 2'592,469 t, segundo productor de maíz grano siendo 3'235,189 t la producción lograda en 2012, en

ambos cultivos predomina la modalidad de temporal. Segundo lugar en producción de caña de azúcar con una producción de 6'254,590 t.

Ganadería: Primer productor de leche de bovino (2'024,967 t), huevo para plato (1'125,670 t) y carne porcina (236,433 t). Ocupando la segunda posición nacional en producción de carne bovina (199,620 t) y carne de ave (313,743 t).

Usos de suelo y vegetación. De acuerdo a la información publicada con datos de 2005 en el portal de INEGI (2013), gran parte del territorio estatal presenta modificaciones de la cobertura natural para llevar a cabo actividades antropogénicas (agricultura, ganadería y crecimiento urbano). Los usos de suelo y vegetación que encabezan la lista por representatividad en la superficie estatal denotan la perturbación que ha sufrido el territorio. La representatividad de los usos de suelo y vegetación en Jalisco, se muestra a continuación:

Tabla 2. Usos de suelo y vegetación.

Uso de suelo y vegetación	Superficie (km ²)	Representación estatal (%)
Vegetación secundaria	28,596.91	36.68
Agricultura	18,798.78	24.12
Bosque	14,151.16	18.15
Pastizal	9,679.59	12.42
Selva	5,000.90	6.42
Áreas urbanas*	1,254.88	1.61
Otros tipos de vegetación	372.84	0.48
Matorral xerófilo	63.58	0.08
Sin vegetación	35.08	0.05

*Información actualizada a 2010.

Fuente: Elaboración propia con base a la información de INEGI (2013).

Climatología. La existencia de una diversidad de relieves, le permite contar con variados climas en el territorio, predominando el clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano,

representado en gran parte del estado, siendo las regiones de Ciénega, Altos Sur, Centro, Valles y Sierra Occidental donde destaca la presencia de este tipo de clima. Continuando con el clima cálido subhúmedo con lluvias en verano que se distribuye a lo largo de las regiones Costa norte y Costa sur, Sierra Occidental y Sierra de Amula; los climas semisecos se encuentran en las regiones Norte, Altos Norte, Sur y Sureste. La Región Altos Norte sobresale por ser el territorio con mayor representación con climas secos (ver Figura 6).

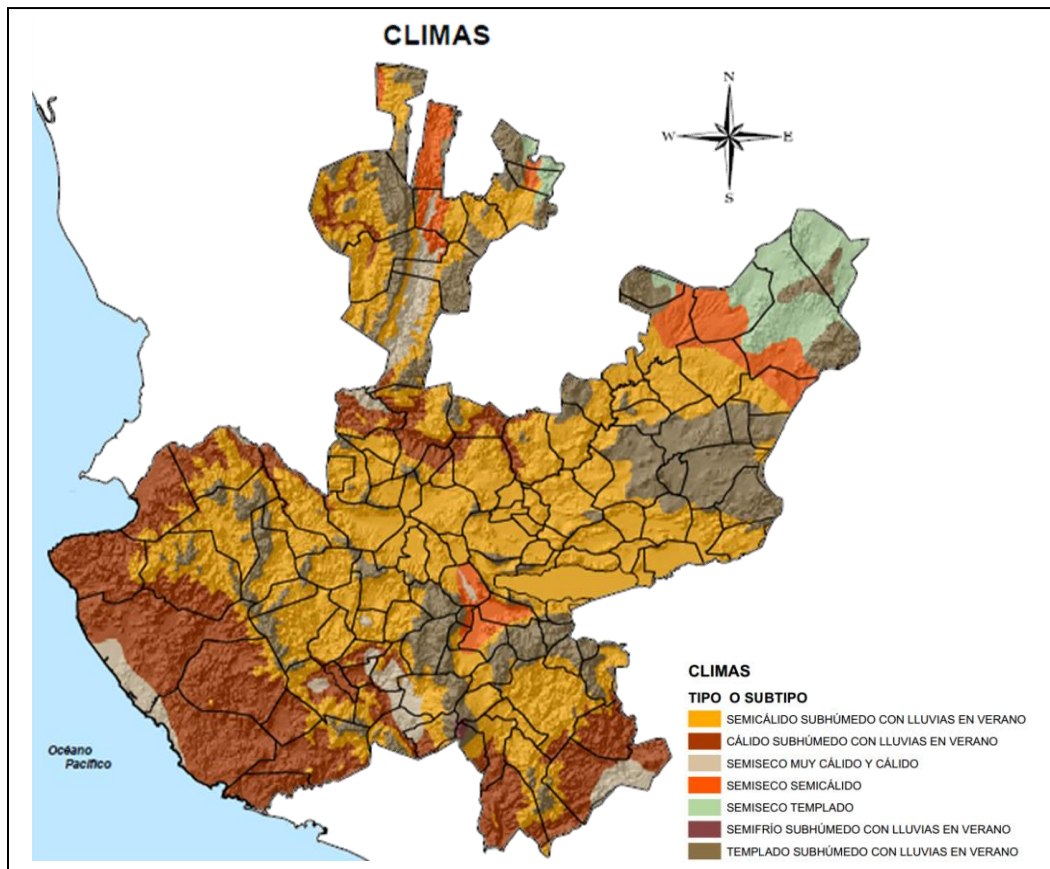


Figura 6. Climas presentes en Jalisco. Fuente: Sistema Estatal de Información del Agua, CEA Jalisco.

Jalisco presenta un régimen de lluvias en verano con una media anual de 884 mm (ver Figura 7), con valores de precipitación media anual de 453 mm en las regiones áridas del estado hasta 1825 mm en los sistemas montañosos pertenecientes a la Sierra Madre del Sur y eje Neovolcánico Transversal, los cuales generan una lluvia de estancamiento, ya que del Océano Pacífico ingresa una masa de aire, con suficiente vapor de agua, que es forzada a

subir a niveles más fríos en las laderas situadas a barlovento, generando la formación de nubes de estancamiento, y finalmente, la precipitación en la zona (INEGI, 2011a; Ruíz, 2003; Fuentes, 2000). La temperatura media anual es de 20.5 ° C, siendo los meses de mayo a septiembre los que registran las temperaturas más elevadas. Enero, es el mes que presenta las menores temperaturas (INEGI, 2011a).

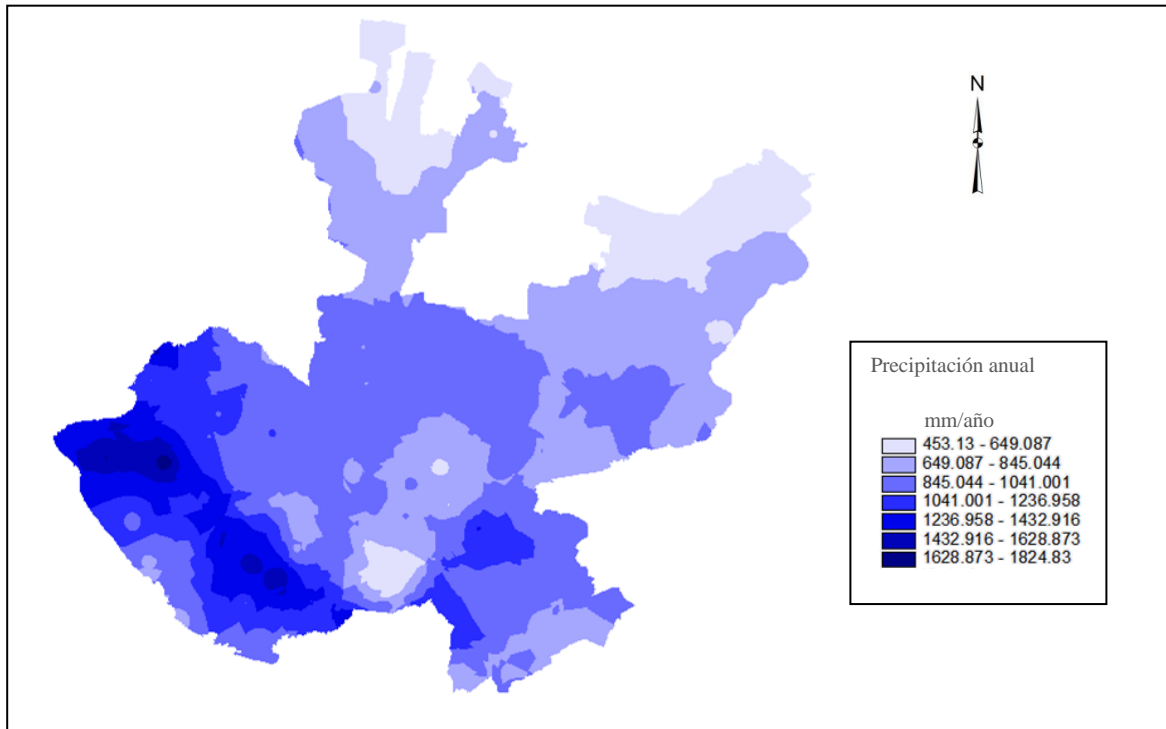


Figura 7. Niveles de precipitación en Jalisco. Fuente: Elaboración propia con base a la información generada por Ruíz *et al.*, 2003.

Hidrología superficial. De acuerdo a los rasgos orográficos e hidrológicos del territorio donde se encuentra localizado Jalisco, en éste existe la presencia de siete regiones hidrológicas que a su vez son divididas en doce subregiones: Alto Santiago, Bajo Santiago, El Salado, Ameca, Balsas, Huicicila, Armería, Coahuayana, Medio Lerma, Bajo Lerma, Costa de Jalisco, Tepalcatepec (CEA). Las cuencas que conforman el estado son veinte, mismas que son segmentadas en subcuencas, de las cuales 88 están total o parcialmente en Jalisco (INEGI, 2012).

Hidrología subterránea. De acuerdo a la información de CONAGUA, en Jalisco se encuentran 59 acuíferos, en los cuales existe una recarga media anual de 56.6 millones de metros cúbicos (Mm³), con un valor mínimo de 2.6 Mm³ en el acuífero nombrado como “El muerto” localizado en la Región Altos Norte, hallando el valor superior en el acuífero “Ameca” situado en las regiones de Valles, Centro y Sierra Occidental, con una recarga media anual de 277.3 Mm³ (CONAGUA, 2009a; 2011).

9.2. Método de investigación

En esta investigación se realizó un diagnóstico del territorio del estado de Jalisco, por subcuenca hidrográfica, empleando una escala de estudio 1:250,000 bajo un enfoque del rol estratégico del recurso hídrico. Para lo cual fue necesario realizar primeramente, una caracterización de los subsistemas: natural, social y productivo; entendiendo que la entidad federativa es el sistema de estudio.

9.2.1 Caracterización del territorio

La primera etapa de esta investigación comprende la caracterización del estado de Jalisco por subcuenca hidrográfica, lo anterior, con base a la consulta de las siguientes fuentes de información: Instituto de Información Territorial del Estado de Jalisco (IITEJ), Simulador de Flujos de Agua (SIATL) del INEGI, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial (POET) del Estado de Jalisco, Google Earth, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Comisión Estatal del Agua (CEA) y Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

9.2.1.1.Subsistema natural

Zonificación del área de estudio. La delimitación y caracterización del área de estudio fue a nivel de subcuenca hidrográfica, considerando sólo a aquellas que tienen aporte significativo, es decir, que los tributarios realicen el aporte a los cauces principales ubicados en Jalisco, de tal manera que sólo fueron consideradas aquellas con corrientes de segundo orden en adelante de acuerdo a la clasificación de Horton (1945). En esta etapa de discriminación de subcuencas, se utilizaron el conjunto de datos vectoriales de los límites del estado de Jalisco del IITEJ (2012), la red hidrográfica de Jalisco escala 1:50,000 y las subcuencas hidrográficas delimitadas por el INEGI (2012) y publicadas en el portal SIATL. Una vez obtenido el conjunto de subcuencas aprobadas por su aporte de corrientes superficiales, se calculó la superficie (ha) de cada una de las subcuencas, para proseguir con su caracterización a partir de las siguientes variables:

Datos meteorológicos: valores promedio de evapotranspiración potencial (mm) y precipitación (mm). Tomados de los datos *raster* oficiales de precipitación media anual y evapotranspiración potencial del INIFAP publicados por Ruíz *et al.* (2003).

Datos edafológicos: Textura del suelo (tipo), lo que permite identificar la capacidad de infiltración del suelo. La fuente de información fueron los datos vectoriales del sistema edafológico del POET del Estado de Jalisco (SEMADES, 1998).

Datos del relieve: Topografía (%). Se utilizó la información digital de las curvas de nivel del estado de Jalisco (equidistancia entre curvas de nivel: 50 m), para elaborar un Modelo Digital de Elevación (MDE), derivando como producto final el mapa de pendientes de Jalisco.

Datos de uso del suelo: Cubierta vegetal (%). Para lo cual, se llevó a cabo la fotointerpretación de la imagen satelital Google Earth (2012).

Cuerpos de agua: Almacenamiento en la superficie (tipo de sistema de drenaje y presencia de almacenamientos naturales de agua), información obtenida de la fotointerpretación de la imagen satelital Google Earth (2012). Además se consultaron a CONAGUA los datos de almacenamiento del período 2002-2012 de los siguientes cuerpos de agua: Lago de Chapala, Laguna de Cajititlán, Laguna Colorada y de las principales presas de Jalisco: Tenasco, Achimec, Los Mezquites, Villa Guerrero, El Cuarenta, La Saucedá, Peñas de León, Juiquinaque, La Duqueza, La Cantera, El Salto, González Chávez, El Tule, La Red, Lagunillas, El Estribón, San Miguel el Alto, Mexxicacán, Lugo Sanabria, El Volantín, Garabatos, La Colonia, Chila, V.C. Villaseñor, La Joya (Atoyac), El Nogal, Huejotitlán, La Yerbabuena, Trigomil, Tacotán, Basilio Vadillo, El Pochote, Charco Azul, Alcaparrosa, Miraplanes, Cajón de Peña, Corrinchis, Santa Rosa, Palo Verde, Coatepec, Santa Rosalía, San Andrés, Las Quemadas, El Trigo, La Vega con Aguja, Hurtado, Los Sauces, Los Gigantes, Cuacuala y La Joya (Zapotlanejo). Para localizar a qué subcuenca pertenecía cada uno de los almacenamientos de agua, se consultó el Sistema Estatal de Información del Agua de Jalisco (Dirección de cuencas y sustentabilidad, 2012), utilizando las capas de principales presas, subcuencas y principales cuerpos de agua.

Además del almacenamiento superficial, se consideró el almacenamiento subterráneo, consultando la fuente de CONAGUA (2012) de la recarga total media anual, es decir, la suma de los volúmenes que ingresan al acuífero en forma de recarga vertical de los siguientes acuíferos: 20 de Noviembre, Aguacate, Altos de Jalisco, Amatitán, Ameca, Arenal, Atemajac, Autlán, Barreras, Cajititlán, Chapala, Cihuatlán, Ciudad Guzmán, Colomos, Colotlán, Cuautitlán, Cuquío, El Muerto, Encarnación, Huejotitán, Jalostotitlán, Jesus María, Jiquilpan, La Barca, La Huerta, Lagos de Moreno, Lagunas, Los Puentes, Maravilla, Mascota, Mezquitic, Miguel Hidalgo, Mixtlán, Norte de Jalisco, Ocotlán, Ojuelos, Poncitlán, Primo Verdad, Puerto Vallarta, Quitupan, San Diego de Alejandría, San Isidro, San José de las Pilas, San Martín de Bolaños, Santa María, Tapalpa, Tecolotlán, Tepatitlán, Tequila, Tizapán, Toluquilla, Tomatlán, Unión de Guadalupe, Unión De Tula, Valle De Guadalupe, Valle de Juárez, Villa Guerrero, Vista del Mar y Yahualica. Para el cálculo del almacenamiento subterráneo en cada subcuenca, se hizo la solicitud directa a CONAGUA (2009a) de los límites de los acuíferos, información entregada en formato

shapefile. Con fines prácticos, se trabajó bajo el supuesto de una distribución uniforme del líquido en el acuífero. De esta manera, sólo se realizó el cálculo con la utilización de ArcGIS 9.3 de la proporción del acuífero en la subcuenca y por consiguiente, se obtuvo el porcentaje de la recarga que pertenece a cada una de las subcuencas.

La consulta y manejo de la información de datos meteorológicos, edafológicos, relieve, almacenamiento superficial y subterráneo, fue mediante el uso del software ArcGIS 9.3.

Coficiente de escurrimiento. Una vez obtenido los valores anteriores, se procedió al cálculo del coeficiente de escurrimiento, asignando un valor a las condiciones presentadas en cada una de las variables, de acuerdo a la Tabla 3. “Características productoras del escurrimiento” y el resultado fue dividido entre 100. Entendiendo que la variable que mayor aporte tiene al coeficiente de escurrimiento es la pendiente con un valor máximo de 40 (ver Tabla 3), seguida de las variables de textura del suelo, cubierta vegetal y almacenamiento en la superficie, las cuales tienen cada una un aporte máximo de 20. Para mayor claridad sobre el método, se presenta la siguiente ecuación:

$$Q = (A+B+C+D)/100$$

Donde:

Q: Escurrimiento

A: Pendiente

B: Infiltración del suelo

C: Cubierta vegetal

D: Almacenamiento en la superficie

En esta ecuación, cada una de las variables según las características de la subcuenca, adquiere un valor de acuerdo a la Tabla 3.

Tabla 3. Características productoras del escurrimiento. Tomado de Barbiric, 1984.

Denominación de las características de la cuenca.	100 Extremo	75 Alto	50 Normal	25 Bajo
Pendiente	(40) Terreno empinado y abrupto, con pendientes medias generalmente superior al 30%.	(30) Montañoso, con un promedio de pendiente del 10 al 30%.	(20) Ondulante, con un promedio de pendiente del 5 al 10%.	(10) Terreno relativamente plano, con un promedio de pendiente del 0 al 5%.
Infiltración del suelo	(20) Cubierta del suelo sin eficacia, ya sea rocosa o con una delgada cubierta de suelo vegetal de capacidad de infiltración despreciable.	(15) Lento en absorber el agua: suelo arcilloso o de algún otro tipo con capacidad lenta de infiltración, tal como un gumbo pesado.	(10) Normal migajón profundo con infiltración aproximadamente igual a la del típico suelo de la pradera.	(5) Alta: suelo arenoso profundo o algún otro tipo de suelo que absorbe el agua rápida y fácilmente.
Cubierta vegetal	(20) Cubierta vegetal sin eficacia, suelo desnudo o con cubierta muy rara.	(15) De mala a regular: cultivos de escarda o cubierta natural pobre: menos del 10% de la superficie con drenaje con una buena cubierta.	(10) De regular a buena: el 50% aproximadamente de la superficie de drenaje cubierta con buenos pastos o árboles o con una cubierta equivalente: no más del 50% de la extensión con cultivos de escarda.	(5) De buena a excelente: el 90% aproximadamente de la superficie de drenaje cubierta con buena hierba, arbolado o alguna cubierta equivalente.
Almacenamiento en la superficie	(20) Despreciable: depresiones superficiales escasas y poco profundas: arroyos y cauces de drenaje empinados y pequeños: sin lagunetas ni marismas.	(15) Poco: sistema bien definido de pequeños arroyos y cauces de drenaje; no hay lagunetas ni marismas.	(10) Normal: considerable almacenamiento en las depresiones o los hundimientos superficiales, sistema de drenaje similar al de las tierras típicas de pradera: lagos, lagunetas y marismas en menos del 2% de la superficie de drenaje.	(5) Alto: alto almacenamiento en los hundimientos o depresiones superficiales: sistema de drenaje no bien definido: gran almacenamiento por inundación de tierras planas o un gran número de lagos, lagunetas, ciénagas o marismas.

9.2.1.2. Subsistema social

Población por subcuenca. En la caracterización del subsistema social, se definió como única variable de estudio al número de habitantes por subcuencas, por realizarse los censos poblacionales cada cinco años, se trabajó con información del último Censo de Población y Vivienda 2010, para dicho proceso fueron utilizados los datos vectoriales de: “Subcuencas del estado de Jalisco” (INEGI, 2012) y “Localidades de la República Mexicana”, este último editado por la CONABIO (INEGI, 2010 b).

De esta manera se pudo obtener la ubicación de las localidades y el número de habitantes correspondientes en cada una de las subcuencas, a partir del manejo de los datos con la aplicación del software ArcGIS 9.3.

9.2.1.3. Subsistema productivo

Cultivos representativos de agricultura de temporal: con el propósito de unificar el año de consulta de los datos de la demanda con el último Censo de Población y Vivienda 2010, se realizó la consulta de la superficie sembrada agrícola por cultivo en hectáreas del 2010 en el portal del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2013).

Criterio de exclusión: se excluyeron todos los cultivos de temporal que no sean representativos en el uso del suelo agrícola del sitio (cuya superficie sembrada sea menor al 20% de la superficie total sembrada en el municipio durante el ciclo).

Criterio de inclusión: tipos de cultivos de temporal que en el ciclo Primavera-Verano y Otoño-Invierno representen más del 20% de la superficie total sembrada en el municipio.

Cultivos representativos de agricultura de riego: se realizó la consulta de la superficie sembrada agrícola por cultivo en hectáreas del 2010 en el portal del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2013).

Criterio de exclusión: se excluyeron todos los cultivos de riego que no fueron representativos en el uso del suelo agrícola del sitio (cuya superficie sembrada sea menor al

20% de la superficie total sembrada en el municipio durante el ciclo Primavera-Verano y Otoño-Invierno).

Criterio de inclusión: tipos de cultivos de temporal que en el ciclo Primavera-Verano y Otoño-Invierno representen más del 20% de la superficie total sembrada en el municipio.

Población de ganado bovino de leche y carne: se consultó el Censo Agropecuario 2007, VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal (INEGI, 2009), esta demanda difiere del año de la consulta por ser ésta la única fuente que presenta los datos de manera diferenciada la población de bovino carne y leche, siendo la unidad de medición cabezas de ganado.

Si bien los datos disponibles se presentan por las instituciones a nivel municipal, con la ubicación de uso predominante y utilizando ArcGIS 9.3, se ubicó la información por subcuenca. En el caso de la agricultura, fueron consultados los archivos *shapefile* de uso de suelo de agricultura de temporal y riego (Dirección General de Geografía y Medio Ambiente); para el sector ganadero los *shapefile* de las Unidades de Gestión Ambiental (UGA) con uso predominante pecuario.

9.2.2. Diagnóstico del territorio

El diagnóstico permite conocer la condición del territorio, a partir de la interrelación de las variables de cada uno de los subsistemas (natural, social y productivo). Éste consistió en dos evaluaciones; la primera, con base en el cálculo del balance hídrico por subcuenca, donde interactúan la precipitación, la evaporación y el escurrimiento, a través de la Ecuación básica de Gugk y la Academia de Ciencias de la URSS (1964): $P - E - Q = 0$. La segunda evaluación, fue a partir de la relación demanda y oferta del recurso hídrico, bajo la ecuación de Cardona y Sarmiento (1989): $V = D/O$. A continuación, se describe cada uno de los procesos de evaluación.

9.2.2.1. Balance hídrico

El balance hídrico, es la diferencia en un tiempo determinado entre las entradas y salidas de agua. En general, las entradas comprenden a las precipitaciones; las salidas incluyen, la evaporación y el escurrimiento (UNESCO, 1981). Para esta investigación, considerando los datos disponibles y los recursos tanto financieros como teóricos, se decidió aplicar la ecuación simplificada para el cálculo del balance hídrico, la cual se describe a continuación (Gugk y la Academia de Ciencias de la URSS, 1964):

$$P - E - Q = 0$$

Donde:

P = Precipitación media anual.

E = Evapotranspiración.

Q = Escurrimiento.

La ecuación fue aplicada a cada una de las subcuencas de estudio, en donde los primeros dos valores promedio por unidad, fueron calculados a partir de los datos generados por Ruíz *et al.* (2003) del periodo 1961-2000. Y el valor del escurrimiento, fue calculado en la etapa de caracterización.

Los resultados correspondientes a esta evaluación, fueron clasificados en siete categorías de déficit hídrico (ver Tabla 4). Considerando al territorio con presencia de las dos primeras categorías con una condición elevada de estrés hídrico.

Tabla 4. Categorías de Déficit hídrico

	Categoría de Déficit hídrico	Rangos de valores
7	Muy alto	10,951.12 - 12,289.49 m ³
6	Alto	9,612.75 - 10,951.12 m ³
5	Medio alto	8,274.39 - 9,612.75 m ³
4	Medio	6,936.02 - 8,274.39 m ³
3	Medio bajo	5,597.65 - 6,936.02 m ³
2	Bajo	4,259.28 - 5,597.65 m ³
1	Muy bajo o nulo	0 - 4,259.28 m ³

Con lo anterior, se obtuvo una valorización del territorio que permite definir por las condiciones meteorológicas y físicas del territorio, la amenaza por sequía meteorológica.

9.2.2.2. Vulnerabilidad hídrica

Para la evaluación de la vulnerabilidad se requirió hacer el desglose de agua verde y azul, entendiendo que la primera hace referencia a la concentrada en la humedad del suelo y la segunda, al agua superficial y a la contenida en los acuíferos (Hoekstra *et al.*, 2011). El proceso consistió en la identificación de la vulnerabilidad hídrica en las subcuencas de estudio, relacionando la demanda vs. oferta. Lo anterior, bajo el concepto empleado para vulnerabilidad hídrica, en el cual se plantea la dependencia de la condición de vulnerabilidad con los cambios de volumen del recurso hídrico. Por lo tanto, se ha considerado que es vulnerable cuando la demanda es mayor a la oferta presente. La ecuación utilizada fue la definida por Cardona y Sarmiento (1989):

$$V = D/O$$

Donde:

V= Vulnerabilidad.

D= Demanda.

O= Oferta.

Demanda. Los sectores que fueron tomados en cuenta fueron agricultura, ganadería y población humana, agrupados de acuerdo a la fuente de abastecimiento (agua verde/azul):

- Agua verde: Agricultura de temporal.
- Agua azul: Agricultura de riego, ganadería y población humana.

Agua verde. El cálculo de la demanda de los cultivos de temporal representativos ($\geq 20\%$ de la superficie sembrada en el municipio), fue a partir de la valoración del Uso Consuntivo (UC) definido como la cantidad de agua que la planta requiere transpirar y para formar tejido celular, más el agua que evapora del suelo donde crece. Lo anterior se definió con la metodología publicada en el “Manual de Conservación del Suelo y del Agua” (Colegio de Postgraduados, 1977a):

$$UC = KF$$

Donde:

UC: Uso consuntivo.

K: Coeficiente que depende del cultivo.

$$F: \sum_i^n = 1$$

(F) es un valor mensual que está en función de la temperatura y el porcentaje de horas-luz del mes con respecto al anual, que se determina mediante la siguiente fórmula:

$$F = K_t \cdot P$$

Donde:

K_t: Coeficiente que depende de la temperatura media mensual (Tabla 5).*

P: Porcentaje de horas-luz del mes que se obtiene en la Tabla 6, para las diferentes latitudes de Jalisco.

*Se realizó una modificación en este elemento, al no considerar la temperatura media; en su lugar y bajo la justificación de estar considerando el peor de los escenarios respecto al aumento de temperatura, se tomó el dato de temperatura máxima promedio histórica (1902-2011) del Atlas Climático Digital de México (UNAM, 2013).

Tabla 5. Valor de Kt para las diferentes temperaturas de Jalisco. Tomado de: Blaney, H.f., y W.D. Criddle, SCS. TP. 96 USDA

°C	Coficiente Kt	°C	Coficiente Kt
20	1.495	31	2.698
21	1.59	32	2.822
22	1.688	33	2.953
23	1.789	34	3.085
24	1.892	35	3.22
25	1.999	36*	4.074
26	2.108	37*	4.365
27	2.22	38*	4.677
28	2.335	39*	5.012
29	2.453	40*	5.370
30	2.574	41*	5.754
		42*	6.166

Tabla 6. Valor de P para las diferentes latitudes de Jalisco. Tomado de: Blaney, H.f., y W.D. Criddle, SCS. TP. 96 USDA

Mes	19° Latitud Norte	20° Latitud Norte	21° Latitud Norte	22° Latitud Norte	23° Latitud Norte
Enero	7.79	7.74	7.71	7.66	7.62
Febrero	7.28	7.26	7.24	7.21	7.19
Marzo	8.41	8.41	8.4	8.4	8.4
Abril	8.51	8.53	8.54	8.56	8.57
Mayo	9.11	9.14	9.18	9.22	9.24
Junio	8.97	9	9.05	9.09	9.12
Julio	9.2	9.23	9.29	9.33	9.35
Agosto	8.92	8.95	8.98	9	9.02
Septiembre	8.28	8.29	8.29	8.3	8.3
Octubre	8.19	8.17	8.15	8.13	8.11
Noviembre	7.63	7.59	7.54	7.5	7.47
Diciembre	7.71	7.66	7.62	7.55	7.5

*Los valores correspondientes a las temperaturas de 36 a 42°C se calculó con la siguiente ecuación
 $\text{Log Y} = -0.47 + 0.03X$
X= Temperatura.

En seguida se realizó el cálculo de K, el cual es un coeficiente total (anual) que depende del cultivo, siendo el valor mensual el de interés para este estudio, fue necesario dividirlo en etapas de desarrollo de las plantas (coeficiente de desarrollo) el cual es identificado con Kc (ver Tabla 7 y 8), para lo cual fue necesaria la consulta complementaria del ciclo vegetativo de los cultivos seleccionados de la fuente de información: “Requerimientos Agroecológicos de Cultivos” (Ruiz *et al.*, 1999).

Tabla 7. Coeficiente de desarrollo Kc para el cálculo de usos consuntivos. Tomado de: Colegio de Postgraduados 1977b.

Porcentaje de desarrollo medio mensual	Cultivos anuales								
	Maíz	Trigo	Frijol	Garbanzo	Cártamo	Cebada	Papa	Sorgo	
0	0.42	0.15	0.5	0.3	0.14	0.15	0.2	0.3	0.3
5	0.45	0.2	0.45	0.35	0.16	0.2	0.35	0.35	0.35
10	0.48	0.3	0.6	0.4	0.18	0.3	0.4	0.4	0.4
15	0.51	0.4	0.65	0.5	0.22	0.4	0.45	0.48	0.48
20	0.6	0.55	0.73	0.55	0.27	0.55	0.5	0.6	0.6
25	0.65	0.7	0.8	0.65	0.35	0.7	0.6	0.7	0.7
30	0.7	0.9	0.9	0.7	0.44	0.9	0.7	0.8	0.8
35	0.8	0.1	0.97	0.75	0.54	1.1	0.82	0.9	0.9
40	0.9	1.25	1.05	0.78	0.64	1.25	0.97	1	1
45	1	1.4	1.1	0.8	0.76	1.4	1.05	1.08	1.08
50	1.05	1.5	1.12	0.82	0.88	1.5	1.16	1.07	1.07
55	1.07	1.57	1.12	0.85	0.97	1.57	1.25	1.05	1.05
60	1.08	1.62	1.1	0.85	1.07	1.62	1.3	1	1
65	1.07	1.61	1.05	0.82	1.07	1.61	1.35	0.95	0.95
70	1.05	1.55	1.02	0.8	1.08	1.55	1.38	0.9	0.9
75	1.02	1.45	0.95	0.75	1.02	1.45	1.38	0.82	0.82
80	1	1.3	0.87	0.7	0.96	1.3	1.35	0.75	0.75
85	0.95	1.1	0.8	0.65	0.86	1.1	1.33	0.7	0.7
90	0.9	0.95	0.72	0.6	0.76	0.95	1.3	0.65	0.65
95	0.87	0.8	0.7	0.5	0.6	0.8	1.25	0.6	0.6
100	0.85	0.62	0.62	0.4	0.45	0.62	1.2	0.55	0.55

El coeficiente de desarrollo de los cultivos de ciclo perenne presentes en Jalisco están representados en la Tabla 8.

Tabla 8. Coeficiente de desarrollo Kc para el cálculo de usos consuntivos. Tomado de: Colegio de Postgraduados 1977b.

Mes	Cultivos perennes					
	Alfalfa	Caña	Cítricos	Frutales hoja caduca	Frutales hoja perenne	Pasto
1	0.65	0.3	0.65	0.2	0.6	0.48
2	0.75	0.35	0.67	0.25	0.75	0.6
3	0.85	0.5	0.69	0.35	0.85	0.75
4	1	0.6	0.7	0.65	1	0.85
5	1.1	0.77	0.71	0.85	1.1	0.87
6	1.13	0.9	0.72	0.95	1.12	0.9
7	1.12	0.98	0.72	0.98	1.12	0.9
8	1.08	1.02	0.71	0.85	1.05	0.87
9	1	1.02	0.7	0.5	1	0.85
10	0.9	0.98	0.68	0.3	0.85	0.8
11	0.8	0.9	0.67	0.2	0.75	0.75
12	0.65	0.68	0.65	0.2	0.6	0.6

Agua azul:

- Agricultura de riego, considerando a los cultivos representativos ($\geq 20\%$ de la superficie sembrada en el municipio), y realizando la valoración del UC, con la metodología del “Manual de Conservación del Suelo y del Agua” (Colegio de Postgraduados, 1977b) y descrita en el apartado anterior.

- Ganadería de bovino de leche y carne, considerando las estimaciones sobre la huella hídrica de agua azul de bovino (Mekonnen *et al.* 2012) para producción de leche 2056 m³/cabeza/año y bovino de carne 630 m³/cabeza/año, se generó la demanda de agua por municipio para el desarrollo y producción de ganado bovino.

- Población humana, se estimó el consumo de agua anual para las poblaciones urbanas de la Zona Metropolitana de Guadalajara y Puerto Vallarta, a partir del dato de 280 l/persona/día (Mendoza, 2012) y en las demás poblaciones el máximo recomendado por la OMS (2003) para satisfacer las necesidades básicas: 100 l/persona/día.

Oferta.

- Agua verde: La oferta de agua verde, se obtuvo de los datos *raster* de precipitación promedio del periodo 1961-2000 (Ruíz, *et al.*, 2003) y la sustracción del escurrimiento por subcuenca. El cálculo se realizó de la siguiente manera:

$$\mathbf{AV = Pp - Q}$$

Donde:

AV: Agua verde.

Pp: Precipitación.

Q: Escurrimiento.

- Agua azul: se consultaron dos tipos de abastecimientos, el subterráneo y el superficial. El primero corresponde a la recarga total media anual, es decir, a la suma de los volúmenes que ingresan al acuífero en forma de recarga vertical (CONAGUA, 2012). La oferta superficial comprende a presas, lagunas y Lago de Chapala (CONAGUA, 2002-2012).

$$\mathbf{AA = ASb + ASp}$$

Donde:

AA: Agua Azul.

ASb: Agua Subterránea.

ASp: Agua Superficial.

Categorías de vulnerabilidad. Una vez obtenidos los valores de demanda y oferta hídrica en Jalisco, se procedió a la aplicación de la ecuación ($V=D/O$) y los resultados fueron agrupados en ocho categorías de vulnerabilidad, Cardona *et al.*, (1989) proponen tres categorías agrupando los valores de 1-3 para vulnerabilidad baja, 4-7 vulnerabilidad intermedia y 8-10 vulnerabilidad alta; sin embargo en esta investigación, se ha decidido trabajar con mayor número de categorías, buscando tener una mayor representatividad de acuerdo a los resultados obtenidos. Los valores mayores a uno indican cuánto la demanda

es mayor que la oferta. De tal manera que en las categorías Extrema, Aguda y Severa, la jerarquía está en función de los resultados de la relación D/O de agua azul en donde la demanda hídrica es mayor a la oferta de agua azul, en estas categorías los resultados de la relación de agua verde sólo fueron considerados como presencia de vulnerabilidad. En la categoría Alta, existe vulnerabilidad en el agua azul pero no en el agua verde. En las categorías Moderada, Leve y Baja, la demanda de agua azul es compensada con la oferta existente, no siendo así el caso de demanda de agua verde, encontrando valores de demanda hasta cuatro veces más a la oferta hídrica. La última categoría es Sin vulnerabilidad aparente, simbolizando que la demanda en la subcuenca no sobrepasa el valor de la oferta. En la Tabla 9 se presentan cada una de las categorías, los números indican cuántas veces es mayor la demanda que la oferta de agua, de acuerdo a la ecuación aplicada.

Tabla 9. Categorías de Vulnerabilidad Hídrica.

Categoría de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de agua azul^a y agua verde^v Relación Demanda/Oferata
Extrema	$> 5^a \text{ y } > 1^v$
Aguda	$4 - 5^a \text{ y } > 1^v$
Severa	$1 - 3^a \text{ y } > 1^v$
Alta	$> 1^a \text{ y } < 1^v$
Moderada	$< 1^a \text{ y } 3 - 4^v$
Leve	$< 1^a \text{ y } 2 - 3^v$
Baja	$< 1^a \text{ y } 1 - 2^v$
Sin vulnerabilidad aparente	$< 1^a \text{ y } < 1^v$

9.2.3. Identificación de las posibles medidas de adaptación que disminuyan la vulnerabilidad hídrica en Jalisco.

Las medidas de adaptación, se definieron tomando en cuenta la sensibilidad particular de las diversas regiones de Jalisco, agrupándolas de la siguiente manera:

Sector afectado	Estrategia de adaptación	Elemento del sistema	Práctica			
			Mecánica	Vegetativa	Cultural	Política
	Aumento de la oferta de agua	Agua azul				
		Agua verde				
	Disminución de la demanda de agua	Agua azul				
		Agua verde				

Para obtener una primera propuesta de medidas de adaptación fue necesaria la revisión de bibliografía, consultando las siguientes fuentes de información: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Unión Ganadera Regional de Jalisco.

Una vez obtenida la primera aproximación de las posibles medidas de adaptación, se llevó a cabo un taller con la participación del grupo núcleo de Adaptación al cambio climático del PEACC-Jalisco y otros investigadores de la Universidad de Guadalajara con la finalidad de enriquecer el listado de las posibles medidas de adaptación a sequía.

Integrantes del grupo núcleo Adaptación: Arturo Curiel Ballesteros, Doctor en Ciencias Biológicas; María Guadalupe Garibay Chávez, Doctora en Psicología de la Salud; Silvia

Lizette Ramos de Robles, Doctora en Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas; Valentina Davydova Belitskaya, Doctora en Ciencias -Física Atmosférica-; Oscar Carbajal Mariscal, Maestro en Bellas Artes; Gabriela Ramírez Ojeda, Licenciada en Biología; y Fabiola Giovana Amaya Acuña, Estudiante de Biología.

Consulta a expertos: M. en C. Daniel Ibarra Castillo y M. en C. Roberto Novelo González.

9.2.4. Evaluación de las medidas de adaptación

La evaluación de las medidas de adaptación se llevó a cabo con la metodología que a continuación se describe, el cual es un estudio de tipo cualitativo, estableciendo un nivel de medición de intervalo para cada una de las variables.

Efectividad. Hace referencia al efecto que tiene la medida de adaptación para reducir los impactos de amenaza a sequía. La categorización se muestra a continuación:

Efectividad	
1	Tiene efectos inciertos sobre la reducción de la sequía.
2	Tiene efectos indirectos sobre la sequía.
3	Reduce de manera parcial los efectos de la sequía.
4	Reduce los efectos nocivos de la sequía de manera directa y temporal.
5	Reduce los efectos nocivos de la sequía de manera directa y permanente.

Tiempo. Los valores otorgados para este apartado se refieren al tiempo en tener efecto la medida de adaptación, siendo el valor más alto con efecto a corto plazo (menos de un año) y el valor más alto para aquellas medidas con efecto a largo plazo (más de 12 años). Los valores fueron categorizados como se muestra a continuación:

Tiempo	
1	Su efecto se tiene en un periodo mayor a los 12 años de iniciada la medida de adaptación.
2	El efecto se tiene en 6-12 años.
3	Efecto obtenido entre 3 a 6 años.
4	Su efecto se obtiene entre 1 a 3 años.
5	Su efecto se obtiene en menos de un año.

Cobeneficios. Se analizaron las medidas de adaptación con la finalidad de saber si el llevarlas a la práctica tenía efecto sólo para reducción de la vulnerabilidad a sequía o para alguna de las otras amenazas (inundaciones y aumento de calor). Y si éstas sólo tienen efecto para la sequía, identificar si es sólo en una Región o en todo el estado. Las categorías para esta variable fueron:

Cobeneficios	
1	Reducción de la vulnerabilidad y/o aumento de la resiliencia a sequía en una Región.
2	Reducción de la vulnerabilidad y/o aumento de la resiliencia a sequía en todo el estado.
3	Reducción de la vulnerabilidad y/o aumento de la resiliencia y mitigación de los efectos del cambio climático.
4	Reducción de la vulnerabilidad y/o aumento de la resiliencia a sequía + inundaciones o calor.
5	Reducción de la vulnerabilidad y/o aumento de la resiliencia a sequía + inundaciones + calor.

Presiones al ambiente. Se realizó un análisis para identificar la extensión de la presión al ambiente al ejecutar la medida de adaptación, dando valores de 1 a 5, como se muestra a continuación:

Presiones al ambiente	
1	La presión del impacto sobre el ambiente se extiende a más de una subcuenca.
2	La presión del impacto puede extenderse a otra subcuenca.
3	Detectable en gran parte de la subcuenca.
4	La presión generada es detectable en el sitio de ejecución y en sitios próximos a éste.
5	La presión generada es local, detectable sólo en el sitio de ejecución.

Compatibilidad social. Dado que las medidas de adaptación se estarán ejecutando por dos sectores: agropecuario y urbano, se decidió trabajarlos por separado, obteniendo dos tipos de muestra de participantes voluntarios. Cabe señalar que, para esta variable no se pretende obtener una muestra representativa para todo el estado, sino una primera aproximación de la aceptación social a la propuesta planteada, tomando en cuenta que la compatibilidad social dependerá de las regiones en donde se ejecuten las medidas de adaptación.

El primero de ellos, que corresponde al sector agropecuario, se desarrolló a partir de la participación de voluntarios del sector agrícola y pecuario en los talleres elaborados por el equipo de adaptación del PEACC-Jalisco en las regiones Norte, Altos Norte, Costa Sur y Centro, teniendo un promedio de participación de 15 personas en cada uno de los eventos. La ejecución de dichos talleres se llevó a cabo de la siguiente manera:

Presentación: Se realizó una presentación con apoyo de un medio visual y se explicó a los asistentes, el listado de las medidas de adaptación identificadas por los miembros del grupo núcleo de adaptación al cambio climático y la consulta a expertos.

Priorización: Se pidió a los asistentes que de las medidas de adaptación presentadas, realizaran la selección de cinco medidas de adaptación.

Conteo: Se realizó el conteo de la frecuencia con que cada una de las medidas de adaptación fue seleccionada por los participantes voluntarios, obteniendo al final cinco categorías con valor de 1-5.

Compatibilidad social	
1	Menos del 20%
2	20-40%
3	40-60%
4	60-80%
5	Más del 80%

La otra muestra de participantes voluntarios fue del sector urbano, a través de la creación de una página en la red social Facebook nombrada “El Clima cambia nosotros también”, en la cual, desde junio de 2012, se ha trabajado con la sensibilización a la temática de cambio climático con la presentación de infografías, caricaturas, fotografías, videos, noticias y pequeños escritos. Aunque no se puede tener control sobre las personas que interactúan con la página sean exclusivamente de Jalisco, se ha publicado, en su mayoría, información local para atraer la atención de los cibernautas jaliscienses.

Una vez obtenido el público cibernético, con 1124 “Me gusta” de usuarios asociados a la página, se trabajó con la evaluación de la compatibilidad social urbana por este medio, para este paso fue necesario llevar a cabo un primer filtro para ser presentados al público cibernético, en cual se eligieron las diez mejores medidas de acuerdo a los criterios anteriores: efectividad, tiempo, cobeneficios y presiones al ambiente. A estas diez se sumaron dos medidas más: Reparación de fugas de la red hidráulica para abastecimiento y Construcción de presas, la primera medida fue integrada para presentar un total de cinco medidas para disminuir la demanda y la segunda se integró por ser la opción que las autoridades estatales han considerado para abastecer de agua a la ZMG, por lo tanto en este estudio se consideró importante tener una aproximación de la compatibilidad social, que tiene esta medida frente a la propuesta que se realiza en esta investigación.

De tal forma que se realizó dos grupos de publicaciones: el primer grupo presentado, fue referente a las medidas de adaptación encaminadas al aumento de la oferta, siendo siete las opciones presentadas. La segunda publicación fue la presentación de las cinco medidas para disminuir la demanda de agua. A manera de consulta estos materiales visuales solicitaban la jerarquización de las medidas de adaptación a través de un comentario en la publicación, es decir, que para el primer grupo el máximo otorgado para una medida de adaptación fue siete y mínimo uno, siendo uno y cinco los valores extremos para el grupo de disminución de la demanda de agua.

Se realizó el conteo para cada una de las medidas de adaptación y para obtener las categorías se utilizó como límite inferior al número de participantes, siendo 38 los participantes voluntarios para la estrategia de adaptación de aumento de la oferta de agua y 30 para disminución de la demanda de agua; y como límite superior la frecuencia máxima

obtenida por una medida de adaptación, de esta manera se obtuvieron las siguientes categorías por estrategia de adaptación:

Compatibilidad social. Aumento de Oferta de Agua		Compatibilidad social. Disminución de la Demanda de Agua	
1	De 38 a 70.6 puntos obtenidos.	1	De 30 a 46.2 puntos obtenidos.
2	De 70.6 a 103.2 puntos obtenidos.	2	De 46.2 a 62.4 puntos obtenidos.
3	De 103.2 a 135.8 puntos obtenidos.	3	De 62.4 a 78.6 puntos obtenidos.
4	De 135.8 a 168.4 puntos obtenidos.	4	De 78.6 a 94.8 puntos obtenidos.
5	De 168.4 a 201 puntos obtenidos.	5	De 94.8 a 111 puntos obtenidos.

El conjunto de criterios de evaluación se encuentran representados en la Figura 8, siendo cinco el valor máximo equivalente a la mejor condición que puede obtener cualquiera de los criterios.

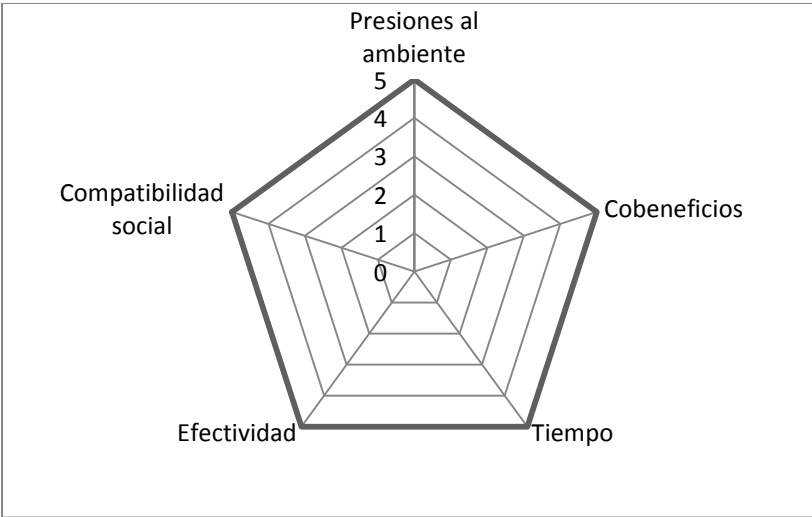


Figura 8. Criterios de evaluación para medidas de adaptación a sequía.

Análisis de resultados. Realizada la valoración de cada uno de los criterios, se efectuó la sumatoria para obtener los resultados de las cinco mejores medidas de adaptación, de acuerdo a esta evaluación, para cada sector: agropecuario y urbano.

10. Resultados

El universo de estudio consistió en setenta y tres subcuencas hidrográficas del estado de Jalisco, que se encuentran total o parcialmente en el territorio (Figura 9. Área de estudio).

10.1. Caracterización

Extensión territorial. Con relación a la superficie de las subcuencas en el estado, la subcuenca Río Ayuquila, localizada en gran parte de su extensión en la Región Sierra de Amula, es la de mayor extensión con 364,609.80 hectáreas, siendo la de menor extensión la subcuenca Río Bolaños–Río Huaynamota, ubicada en la Región Valles con 8,090.66 ha.

Precipitación. Los valores promedio por subcuenca de precipitación media anual oscilan entre 1,452.26 y 506.4880 mm, siendo las subcuencas de R. Tecuán ubicada en la Región Costa Norte y Presa San Pablo en la Región Altos Norte, las cuales respectivamente presentan estos valores.

Evapotranspiración potencial. Los valores promedio por subcuenca de evapotranspiración potencial oscilan entre 1,613 a 997 mm, datos correspondientes a las subcuencas R. Cuixtla en la Región Centro y R. Ameca - Ixtapa, en la Región Sierra Occidental.

Las variables: Textura del suelo, Relieve, Usos de suelo y Almacenamiento en la superficie fueron utilizadas para calcular el coeficiente de escurrimiento, por lo que, los resultados se presentan de acuerdo al aporte al coeficiente de escurrimiento.

Textura del suelo. Esta variable está relacionada con la capacidad de infiltración, por tanto, una textura gruesa representa una mayor capacidad de infiltración, contrario a los suelos con textura fina, que se caracterizan por una infiltración lenta. Los valores extremos se encuentran en la subcuenca R. Briseñas - L. Chapala (Región Ciénega) con un valor de aporte parcial al coeficiente de escurrimiento de 14.75/100 y la subcuenca. R. Bolaños Bajo en la Región Norte, con 8.2/100; estos valores corresponden al rango de valores de suelos de textura fina y media.

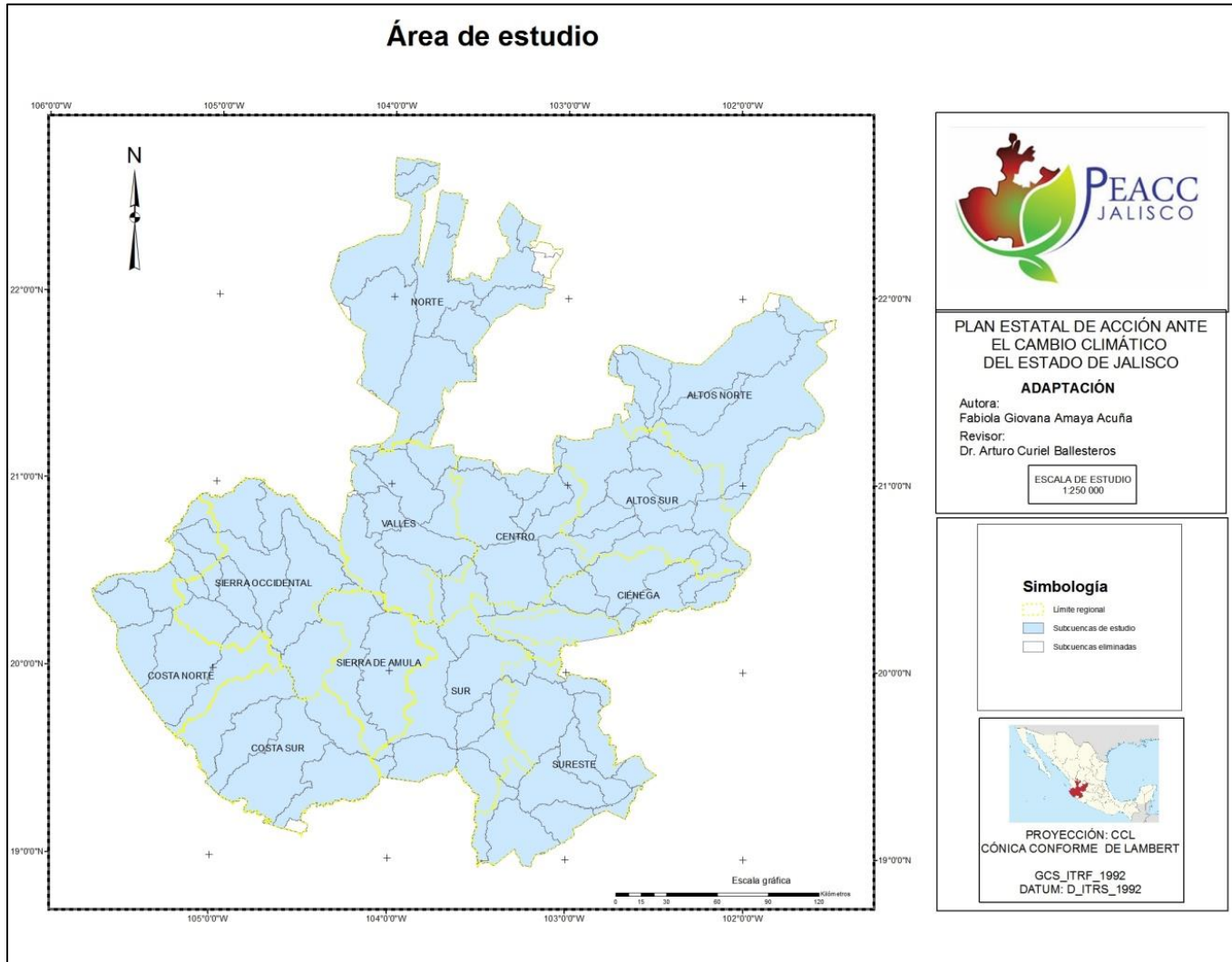


Figura 9. Área de estudio. Elaboración propia con base en los datos vectoriales de los límites del estado de Jalisco del IITEJ (2012) y las subcuencas hidrográficas delimitadas por el INEGI (2012) publicadas en el portal SIATL.

Topografía. Este es el elemento con mayor aporte parcial al coeficiente de escurrimiento, con un máximo de 40/100, cuyo valor pertenece al terreno abrupto, es decir, con pendientes superiores al 30%. El valor máximo por subcuenca fue de 25.8/100 presente en la Región Costa Norte, subcuenca R. Cuale. Siendo la subcuenca R. Grande en la Región Altos Norte, la que presenta el valor mínimo 10.2/100.

Cubierta vegetal. El valor máximo de aporte parcial al coeficiente de escurrimiento presente en las subcuencas caracterizadas es de 15/100 lo cual representa a una condición mala a regular, en otras palabras, con menos del 10% de la superficie de drenaje con una buena cubierta, esta característica está presente en 31 subcuencas, localizadas principalmente en las regiones: Altos Norte y Altos Sur. El valor mínimo 5/100 pertenece a una cubierta de buena a excelente: el 90% aproximadamente de la superficie de drenaje cubierta con arbolado o alguna cubierta equivalente, singularidad presente en ocho subcuencas que comparten las regiones Costa Norte y Sierra Occidental.

Almacenamiento en la superficie. En la caracterización del sistema de drenaje y almacenamientos superficiales, se obtuvo que en seis subcuencas: P. San Pablo (Región Alto Norte), R. Bajo Tepalcatepec (Sureste), R. Briseñas - L. Chapala (Ciénega), R. Gigantes y R. Laja (Centro), R. Talpa (Sierra Occidental), existen depresiones superficiales escasas y poco profundas, los arroyos y cauces de drenaje son empinados y pequeños, no existe algún tipo de almacenamiento superficial, por lo tanto el valor de aporte parcial al coeficiente de escurrimiento es el máximo 20/100 otorgado para esta condición. Las subcuencas L. Sayula (Sur), L. de San Marcos (regiones Sur, Centro y Valles), L. Chapala (Ciénega) y A. Tepalcatepec (Sureste) poseen un alto almacenamiento en los hundimientos o depresiones superficiales, el sistema de drenaje no es bien definido, existe un gran almacenamiento por inundación de tierras planas, por lo tanto el aporte parcial al escurrimiento es de 5/100.

Coefficiente de escurrimiento. Con la caracterización de los elementos anteriores, se procedió al cálculo del coeficiente de escurrimiento, obteniendo como resultado el siguiente rango de valores: en las subcuencas Río Ahuijullo, localizada en la Región Sureste y Río

Briseñas - Lago Chapala en la Ciénega, con el valor de escurrimiento más alto de 0.61 que representa un escurrimiento de 532.07 mm/año con una precipitación de 873.33 mm/año y 491.7943 mm/año con una precipitación media anual de 807.33 mm/año respectivamente. El valor inferior es de 0.4, presente en la subcuenca L. Chapala en la Región Ciénega, lo cual simboliza un escurrimiento de 334 mm con una precipitación media anual de 834.75 mm.

10.2. Diagnóstico

Déficit hídrico. En la primera evaluación, la cual se realizó con base al balance hídrico, los resultados se representan en siete categorías (ver Figura 10), encontrando que las subcuencas con mayor déficit hídrico se encuentran distribuidas en las regiones administrativas de Jalisco de la siguiente manera:

Norte: R. Bolaños Alto, R. Bolaños Bajo, R. Carbonera, R. Tlaltenango, R. Colotlán, R. Tepetongo y R. San Juan.

Altos Norte: R. Turbio - P. Palote, R. Teocaltiche y P. San Pablo.

Centro: R. Cuixtla, R. Juchipila - Moyahua,

Valles: R. Chico.

Esta condición de déficit, es sustentada por presentar niveles inferiores de precipitación media anual, los cuales oscilan entre 500 y 800 mm y presentar valores superiores (respecto al resto del estado) de evapotranspiración potencial con valores de 1600 mm.

Las subcuencas con menor déficit hídrico representadas en color verde en la Figura 10 “Déficit hídrico del estado de Jalisco”, son las siguientes:

Región Costa Norte: R. Tecomala, R. Tecuán, R. Mismaloya y R. Tomatlán.

Región Ciénega: L. Chapala.

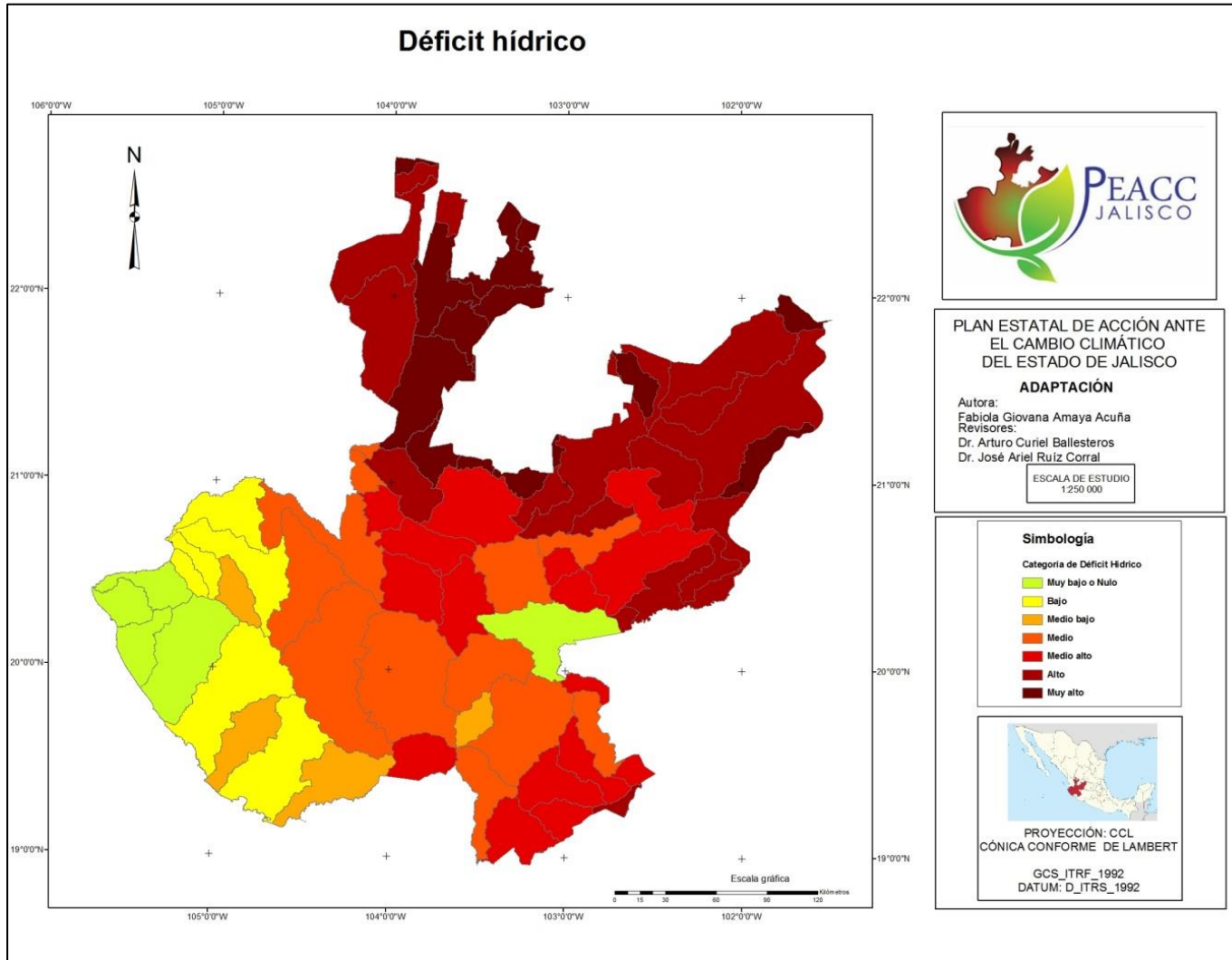


Figura 10. Déficit hídrico del estado de Jalisco.

Vulnerabilidad hídrica. Para el diagnóstico del territorio con base en la identificación de la vulnerabilidad hídrica, como ya se mencionó en la metodología, fue necesario el cálculo de la demanda y la oferta del recurso, las cuales fueron clasificadas en agua verde y agua azul. Para la demanda se tomaron en cuenta tres sectores: agrícola, pecuario y urbano.

En el sector agrícola se calculó el uso consuntivo de los cultivos representativos, los cuales se presentan a continuación con fines prácticos por Región administrativa (aunque el manejo de éstos fue con base al municipio y posteriormente por subcuenca), los valores presentados son los rangos de valor que resultaron en los municipios, en donde sólo existe una cifra es porque sólo en un municipio presentó el cultivo como representativo:

Tabla 10. Cultivos representativos de la Región Altos Norte.

Ciclo/Modalidad	Cultivo	Uso Consuntivo (UC) acumulado (cm)
Primavera-Verano 2010 Temporal	Maíz forrajero en verde	44.34 - 88.65
Primavera-Verano 2010 Temporal	Maíz grano	44.34 - 88.65
Primavera-Verano 2010 Temporal	Frijol	51.47
Primavera-Verano 2010 Riego	Maíz forrajero en verde	44.34 - 88.65
Primavera-Verano 2010 Riego	Maíz grano	44.34 - 88.65
Otoño-Invierno 2010 Riego	Avena forrajera en verde	44.34
Otoño-Invierno 2010 Riego	Triticale forrajero en verde	88.65
Perennes 2010 Temporal	Pastos y praderas en verde	198.17
Perennes 2010 Riego	Alfalfa verde	222.77 - 237.99
Perennes 2010 Riego	Pastos y praderas en verde	197.56 - 198.17

Tabla 11. Cultivos representativos de la Región Altos Sur.

Ciclo/Modalidad	Cultivo	Uso Consuntivo (UC) acumulado (cm)
Primavera-Verano 2010 Temporal.	Maíz grano	62.17 – 82.31
Primavera-Verano 2010 Temporal.	Maíz forrajero en verde	62.17 – 82.31
Otoño-Invierno 2010 Riego	Avena forrajera en verde	43.20 – 48.30
Perennes 2010 Temporal	Pastos y praderas en verde	188.87 – 199.55
Perennes 2010 Riego	Alfalfa verde	241.95
Perennes 2010 Riego	Pastos y praderas en verde	201.28

Tabla 12. Cultivos representativos de la Región Ciénega.

Ciclo/Modalidad	Cultivo	Uso Consuntivo (UC) acumulado (cm)
Primavera-Verano 2010 Temporal	Maíz grano	94.59 - 114.25
Otoño-Invierno 2010 Riego	Trigo grano	86.82 – 97.26
Otoño-Invierno 2010 Riego	Cártamo	78.77
Otoño-Invierno 2010 Temporal	Garbanzo forrajero	64.51
Perennes 2010 Riego	Limón	232.67
Perennes 2010 Temporal	Pastos	169.41 – 205.59

Tabla 13. Cultivos representativos de la Región Centro.

Ciclo/Modalidad	Cultivo	Uso Consuntivo (UC) acumulado (cm)
Primavera-Verano 2010 Temporal	Maíz grano	102.88 – 132.23
Otoño-Invierno 2010 Riego	Trigo grano	99.22
Perennes 2010 Temporal	Pastos	102.46 – 226
Perennes 2010 Riego	Caña de azúcar	103.44

Tabla 14. Cultivos representativos de la Región Costa Norte.

Ciclo/Modalidad	Cultivo	Uso Consuntivo (UC) acumulado (cm)
Perennes 2010 Temporal	Pastos	228.52 – 255.70
Perennes 2010 Riego	Pastos	255.70

Tabla 15. Cultivos representativos de la Región Costa Sur.

Ciclo/Modalidad	Cultivo	Uso Consuntivo (UC) acumulado (cm)
Perennes 2010 Riego	Caña de azúcar	227.79
Perennes 2010 Temporal	Pastos	232.31 – 265.05

Tabla 16. Cultivos representativos de la Región Norte.

Ciclo/Modalidad	Cultivo	Uso Consuntivo (UC) acumulado (cm)
Primavera-Verano 2010 Temporal	Maíz forrajero seco	59.70 - 73.94
Primavera-Verano 2010 Temporal	Maíz grano	59.70 - 73.94
Otoño-Invierno 2010 Riego	Avena forrajera seca	42.89 - 54.69
Otoño-Invierno 2010 Riego	Cebada forrajera seca	49.18
Otoño-Invierno 2010 Temporal	Avena forrajera seca	58.43
Perennes 2010 Temporal	Pastos y praderas en verde	206.05 – 254.33
Perennes 2010 Riego	Pastos y praderas en verde	267.66

Tabla 17. Cultivos representativos de la Región Sierra de Amula.

Ciclo/Modalidad	Cultivo	Uso Consuntivo (UC) acumulado (cm)
Primavera-Verano 2010 Temporal	Maíz grano	95.22 – 127.88
Perennes 2010 Temporal	Pastos	203.05 - 267.73
Perennes 2010 Riego	Caña de azúcar	233.03

Tabla 18. Cultivos representativos de la Región Sierra Occidental.

Ciclo/Modalidad	Cultivo	Uso Consuntivo (UC) acumulado (cm)
Primavera-Verano 2010 Temporal	Maíz grano	98.04 - 137.56
Perennes 2010 Temporal	Pastos	178.10 - 256.80
Perennes 2010 Temporal	Café cereza	295.58

Tabla 19. Cultivos representativos de la Región Sur.

Ciclo/Modalidad	Cultivo	Uso Consuntivo (UC) acumulado (cm)
Primavera-Verano 2010 Temporal	Maíz grano	93.89 - 127.63
Primavera-Verano 2010 Temporal	Papa	131.41
Primavera-Verano 2010 Temporal	Sorgo grano	84.17
Primavera-Verano 2010 Riego	Maíz grano	109.13 – 109.69
Primavera-Verano 2010 Riego	Maíz grano semilla	109.13 – 109.69
Otoño-Invierno 2010 Riego	Brócoli	51.70
Perennes 2010 Riego	Alfalfa verde	218.44 - 240.85
Perennes 2010 Riego	Aguacate	236.30
Perennes 2010 Riego	Caña de azúcar	193.35 - 225.49
Perennes 2010 Temporal	Aguacate	219.32 – 268.44
Perennes 2010 Temporal	Pastos	176.81 - 258.14

Tabla 20. Cultivos representativos de la Región Sureste.

Ciclo/Modalidad	Cultivo	Uso Consuntivo (UC) acumulado (cm)
Primavera-Verano 2010 Temporal	Maíz forrajero	86.05 - 134.50
Primavera-Verano 2010 Temporal	Maíz grano	86.05 - 134.50
Perennes 2010 Temporal	Pastos	158.06 - 302.63
Perennes 2010 Temporal	Aguacate	191.26
Perennes 2010 Riego	Caña de azúcar	210.55 - 245.95

Tabla 21. Cultivos representativos de la Región Valles.

Ciclo/Modalidad	Cultivo	Uso Consuntivo (UC) acumulado (cm)
Primavera-Verano 2010 Temporal	Maíz grano	110.10 - 137.96
Otoño-Invierno 2010 Riego	Trigo grano	92.02
Perennes 2010 Riego	Caña de azúcar	195.04 - 213.80
Perennes 2010 Temporal	Pastos	208.40
Perennes 2010 Temporal	Caña de azúcar	205.68

Se calculó el uso consuntivo por cultivo en el municipio y se representó la demanda de este sector por subcuenca en agricultura de temporal (agua verde) y agricultura de riego (agua azul), realizando la representación gráfica en las Figuras 11 y 12.

Demanda del sector agrícola. La demanda hídrica de la agricultura de temporal, se representa en la Figura 11. “Demanda hídrica: agricultura de temporal” en siete categorías con valores de 0 a más de 1,000 Mm³ anuales, las mayores demandas hídricas de este sector se encuentran en las siguientes subcuencas:

Más de 1,000 Mm³/año: R. Purificación, en la Región Costa Sur.

De 700 a 800 Mm³/año: R. Cuitzmala en la Costa Sur, R. Tecuán en la Costa Norte y Ameca – Ixtapa en la Región Sierra Occidental.

De 600 a 700 Mm³/año: Río Ayuquila en Sierra de Amula y R. Chacala en la Ciénega.

De 500 a 600 Mm³/año: R. Tomatlán en la Costa Norte, R. San Nicolás en la Costa Sur, R. Zula y R. Ángulo – Briseño en la Ciénega y R. Tuxpan en el Sureste.

En contraste, donde existe una débil demanda es en las subcuencas localizadas en la Región Norte, las subcuencas R. Atengo, R. Huejuquilla, R. Huichol, R. San Juan, R. Tepetongo, R. Valparaíso; en la Región Valles son R. Bolaños – Huaynamota y R. Chico; en Región Altos Sur, R. Calderón; en la Región Costa Norte, R. Cuale. En dichas subcuencas, según los cálculos realizados, existe una demanda menor a 10 Mm³.

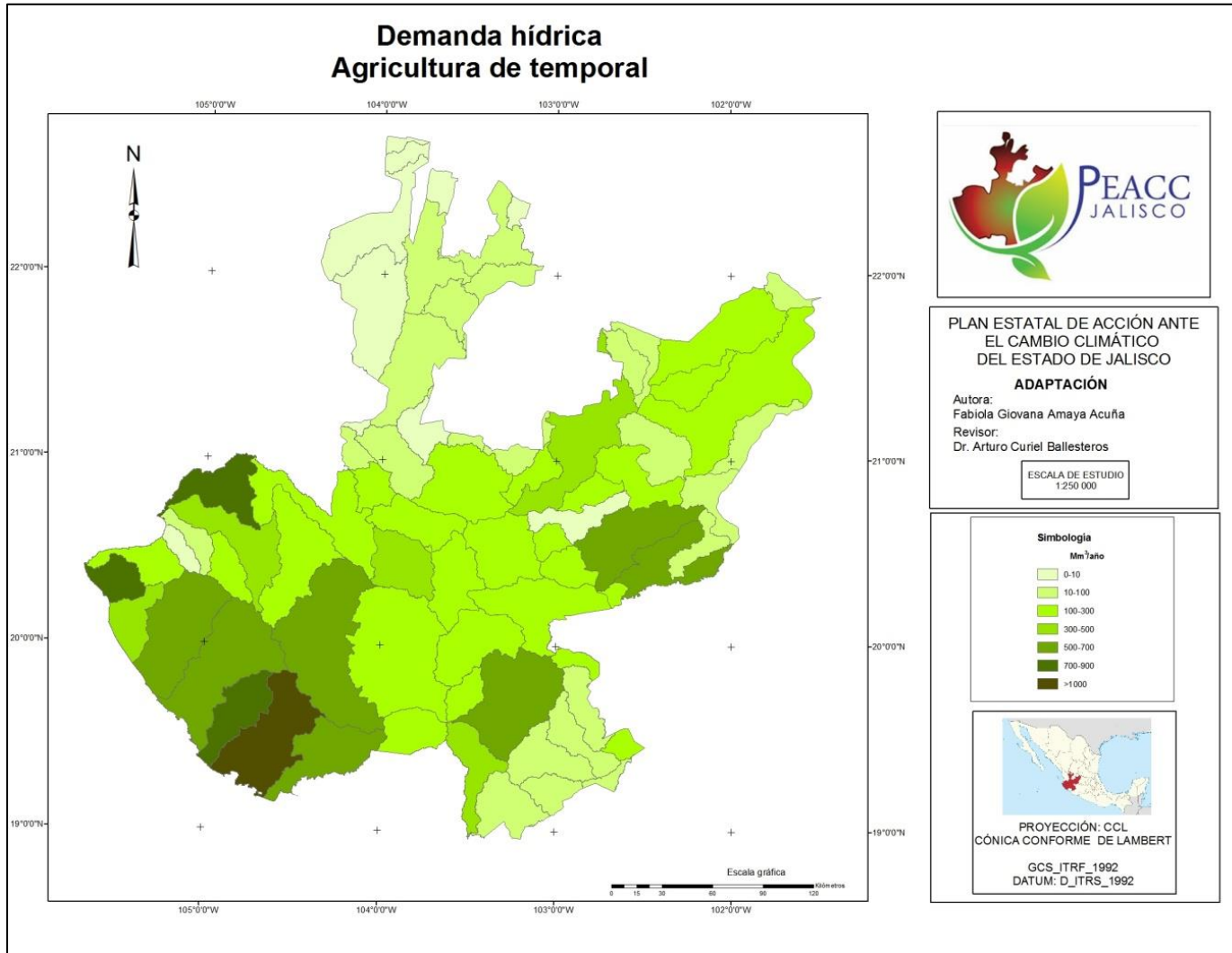


Figura 11. Demanda hídrica: agricultura de temporal (Mm³).

La demanda de agua azul por agricultura de riego está presentada gráficamente en la Figura 12, mostrando que la mayor presión existente por este sector (representada con los dos colores más intensos) está en las subcuencas que demandan más de 100 Mm³ anuales, distribuidas de la siguiente manera:

Región Altos Norte: R. Encarnación y R. de los Lagos.

Región Altos Sur: R. San Miguel.

Región Costa Norte: R. Tomatlán.

Región Sierra de Amula: R. Ayuquila

Región Valles: R. Cocula y R. Calderón.

En treinta subcuencas, representadas con el color más tenue, no existe una demanda significativa por parte de este sector, la localización y nombres se presenta a continuación:

Región Norte: R. Bolaños Bajo, R. Carbonera, R. Huichol, R. San Juan y R. Valparaíso.

Región Altos Norte: P. San Pablo.

Región Altos Sur: R. Calderón y R. Tepatitlán.

Región Sureste: A. Tepalcatepec, R. Alto Tepalcatepec, R. Bajo Tepalcatepec, R. Itzúcaro, R. Quitupan y R. San Jerónimo.

Región Sur: R. Armería.

Región Costa Sur: R. Chacala y R. Cuitzmala.

Región Costa Norte: R. Cuale, R. Pitillal, R. Tecomala y R. Tecuán.

Región Sierra Occidental: R. Ameca – Ixtapa, R. Atenguillo, R. Mascota y R. Talpa.

Región Valles: R. Chico.

Región Centro: R. Cuixtla, R. Grande y R. Juchipila – Moyahua.

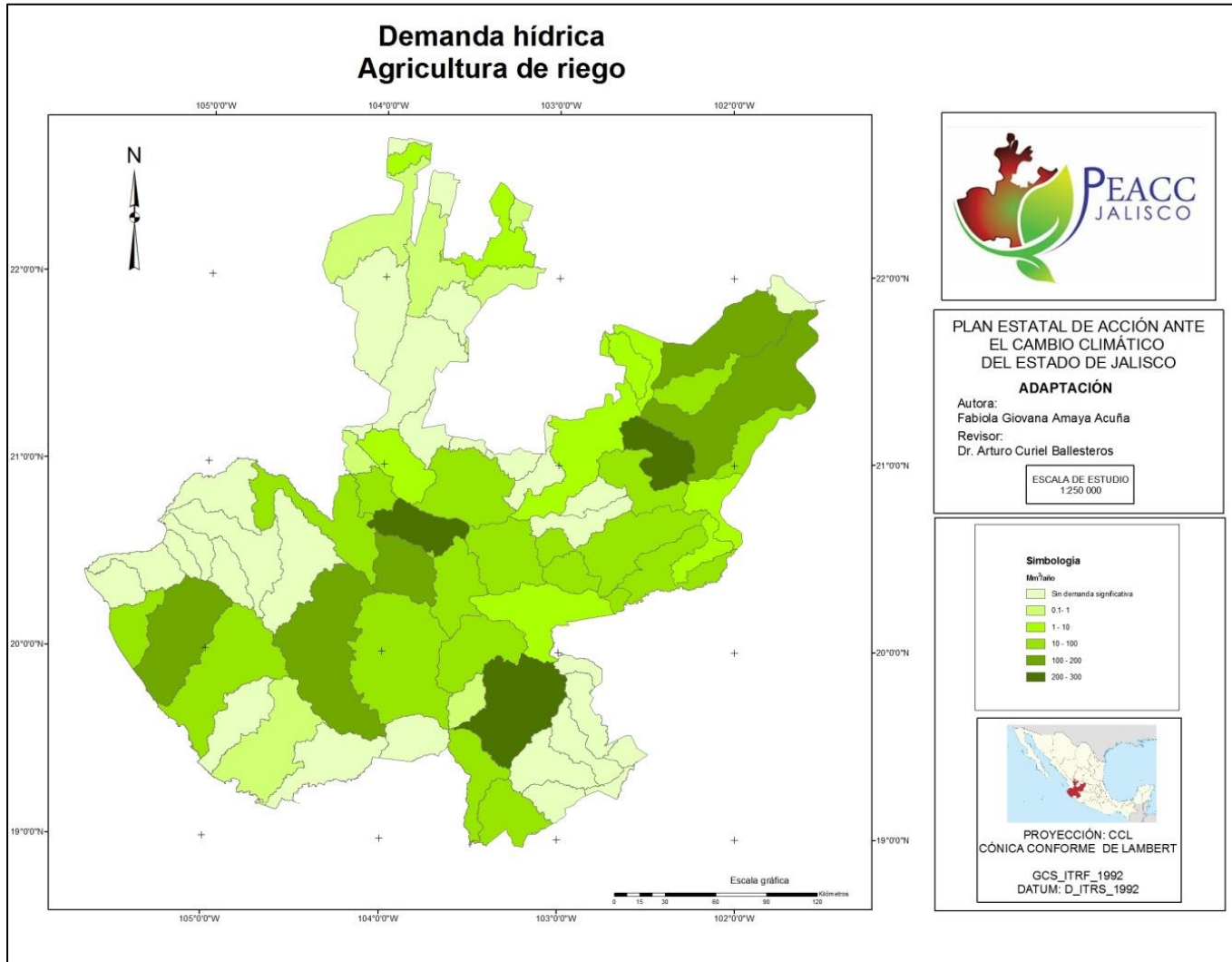


Figura 12. Demanda hídrica: Agricultura de riego (Mm³).

Demanda del sector ganadero. La mayor demanda de agua azul por este sector con valores superiores a los 100 Mm³ está presente en dos subcuencas: R. de los Lagos en Región Altos Norte y R. San Miguel en la Región Altos Sur (ver Figura 13).

En la siguiente categoría que corresponde a valores de 66.6 a 83.3 Mm³ se encuentran las subcuencas R. Encarnación (Región Altos Norte) y R. Zula (Región Ciénega) con una demanda de 83 y 74 Mm³ anuales, respectivamente.

Y con valores dentro del rango de 50 a 66.6 Mm³/año, las subcuencas R. Ayuquila, en Región Sierra de Amula; R. Verde Grande, R. Tepatitlán y R. Calderón, en la Región Altos Sur; por último, la subcuenca R. Grande en la Región Altos Norte.

Las subcuencas que presentan una menor presión por parte de este sector figuran con el color más tenue y están organizadas del siguiente modo:

Región Norte: R. Atengo, R. Bolaños Alto, R. Carbonera, R. Colotlán, R. Huejuquilla, R. San Juan, R. Tepetongo, R. Tlaltenango, R. Valparaíso y R. Bolaños Bajo.

Región Altos Norte: P. San Pablo, R. Aguascalientes, R. Teocaltiche.

Región Altos Sur: R. Huascato.

Región Ciénega: R. La Laja y R. Briseñas – L. Chapala.

Región Sureste: A. Tepalcatepec, R. Bajo Tepalcatepec, R. Coahuayana y R. San Jerónimo.

Región Sur: L. de Zapotlán y R. Armería.

Región Costa Sur: R. Cuitzmala y R. Purificación.

Región Costa Norte: R. Cuale, R. Mismaloya, R. Pitillal, R. Tecomala, R. Tecuán y R. Tomatlán.

Región Sierra Occidental: R. Ameca – Ixtapa y R. Talpa.

Región Valles: L. Magdalena – L. Palo Verde, P. Santa Rosa – R. Bolaños, R. Barranquitas, R. Bolaños – R. Huaynamota, R. Chico y R. Salado.

Región Centro: R. Cuixtla, R. Gigantes, R. Juchipila – Moyahua y R. Verde – P. Santa Rosa.

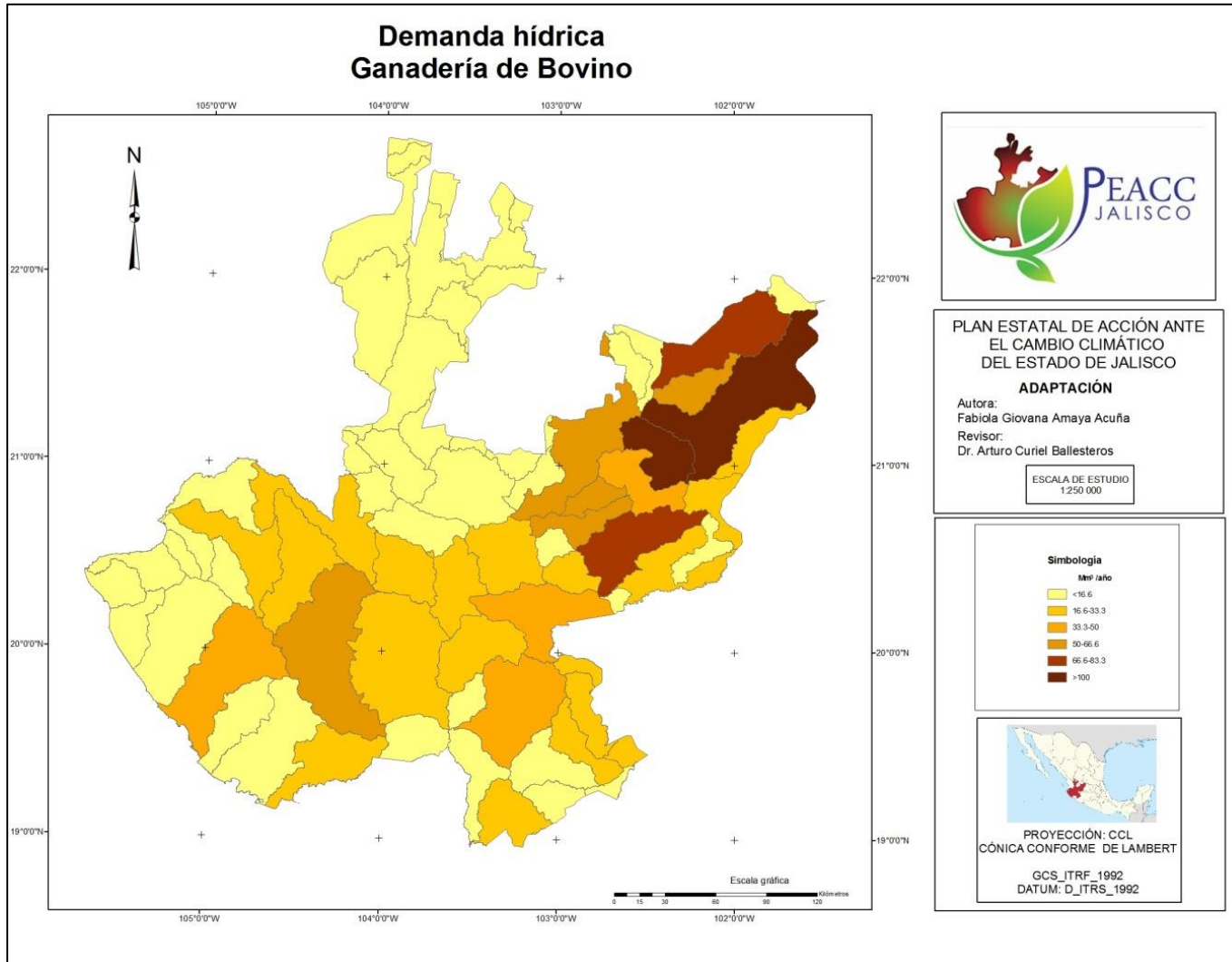


Figura 13. Demanda hídrica: Ganadería de bovino (Mm³)

Demanda de población humana. Las subcuencas hidrográficas que presentan una demanda superior para satisfacer las necesidades básicas anuales de las poblaciones humanas son: L. Chapala en la Región Ciénega con una demanda de 260 Mm³ y R. Corona - R. Verde con 103 Mm³ en la Región Centro (ver Figura 14).

Las otras unidades que representan una fuerte presión son R. Calderón (50 Mm³) en la Región Altos Sur y R. Verde - P. Santa Rosa (42 Mm³) en la Región Centro.

La presión de las cuatro subcuencas citadas, es ejercida primordialmente para satisfacer las necesidades de las localidades de la Zona Metropolitana de Guadalajara.

Otra subcuenca que resalta por la presión existente, es R. Pitillal con una demanda de 17 Mm³, donde se encuentran las localidades urbanas de Puerto Vallarta.

En el resto del estado, de acuerdo a las estimaciones realizadas, existe una demanda menor a 10 Mm³/año.

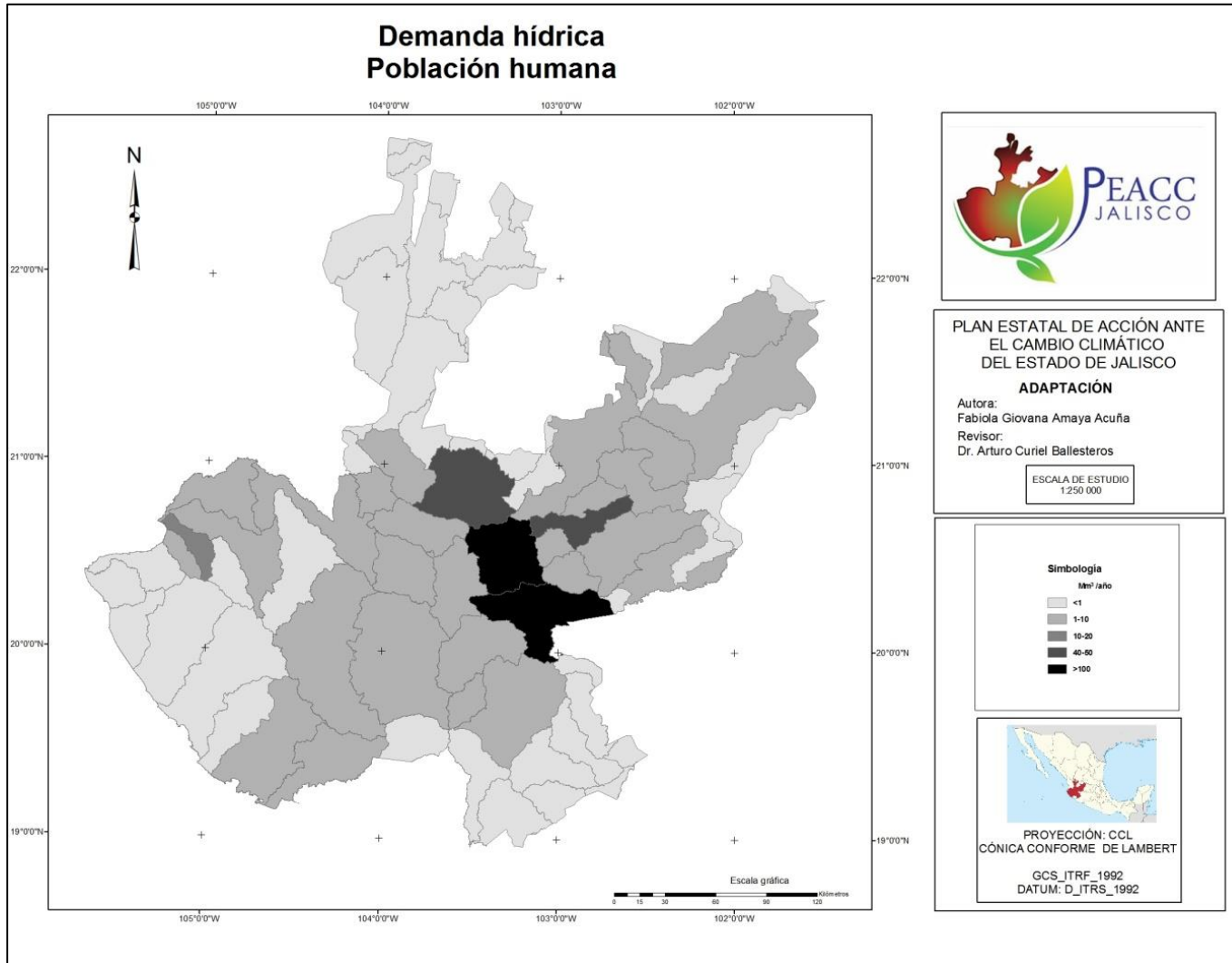


Figura 14. Demanda hídrica: Población humana (Mm³).

Oferta de agua verde. De acuerdo a la Figura 15, las subcuencas localizadas en las regiones Costa Norte, Costa Sur, Sierra Occidental y Sierra de Amula, presentan la mayor oferta del estado por hectárea; estas subcuencas son: R. Mismaloya y R. Tecuán, con un registro superior a los 7,000 m³/ha/año.

En contraste las regiones Norte y Altos Norte se encuentran las subcuencas con la menor oferta, la cual es inferior a los 3,000 m³/ha/año, estas subcuencas son: P. San Pablo, R. Bolaños Alto, R. Teocaltiche, R. Aguascalientes, R. Huejuquilla, R. Encarnación, R. Tepetongo, R. San Juan, R. Colotlán, R. Atengo y R. Valparaíso, las cuales están representadas en la Figura 15. “Oferta Agua verde” con el color más tenue.

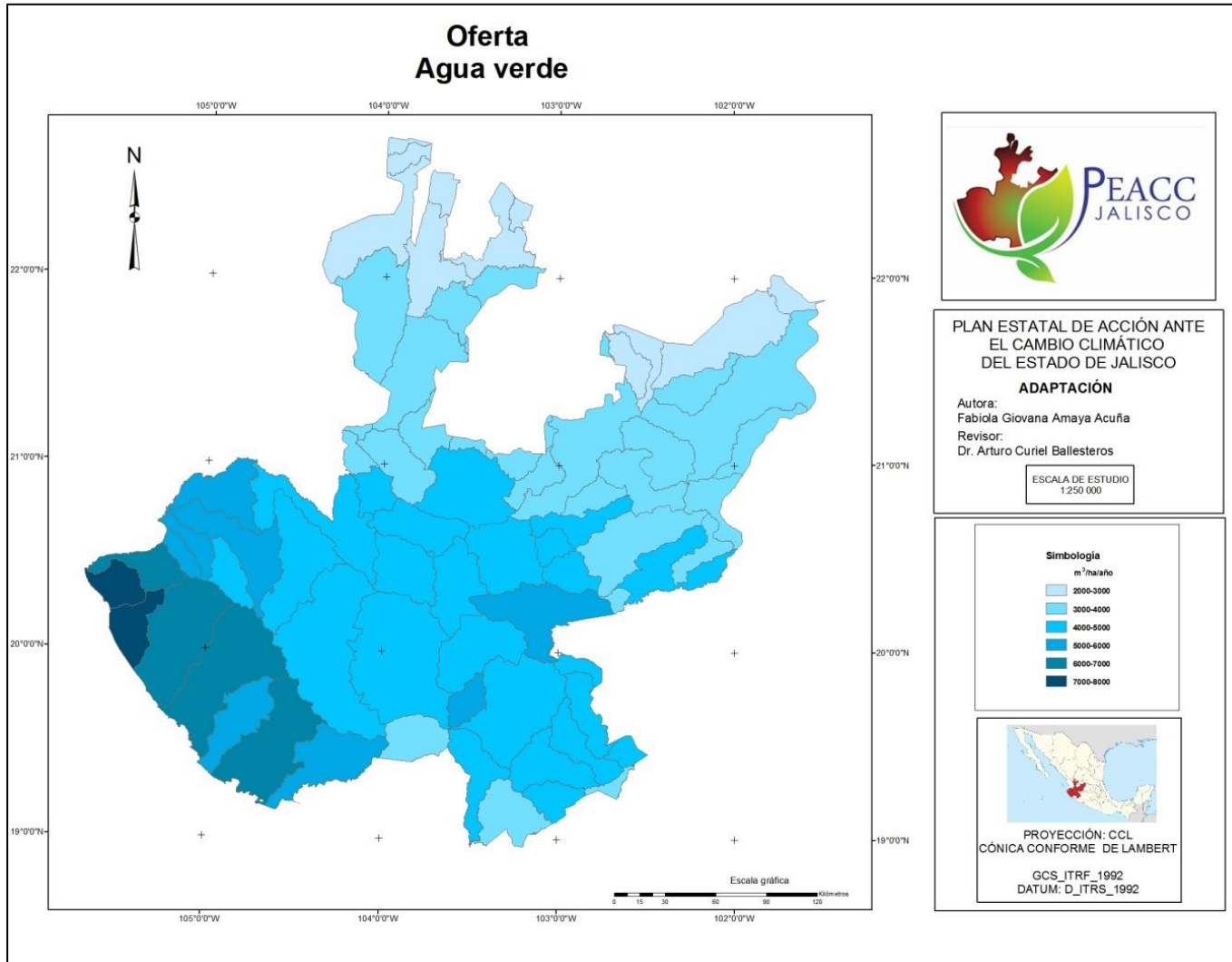


Figura 15. Oferta Agua verde (Mm3).

Oferta agua azul. La mayor oferta de agua azul con un valor de 4000 Mm³/año, es la subcuenca L. Chapala, la cual está representada en la Figura 16. “Oferta: Agua azul” con el azul más intenso, en esta subcuenca se encuentra el lago más grande de México.

Seguido de esta categoría, se encuentran las subcuencas R. Tomatlán en la Región Costa Norte, R. Verde - P. Santa Rosa en la Región Centro y R. Ayuquila en la Región Sierra Occidental, las cuales tienen una importante oferta al tener en su territorio infraestructura hidráulica para almacenamiento; adicional a esta oferta superficial, la recarga acumulada de agua subterránea, en las dos últimas subcuencas, representa un aprovisionamiento importante para lograr esta categoría de alta oferta, ver Figura 17. “Recarga acumulada de agua subterránea por subcuenca”.

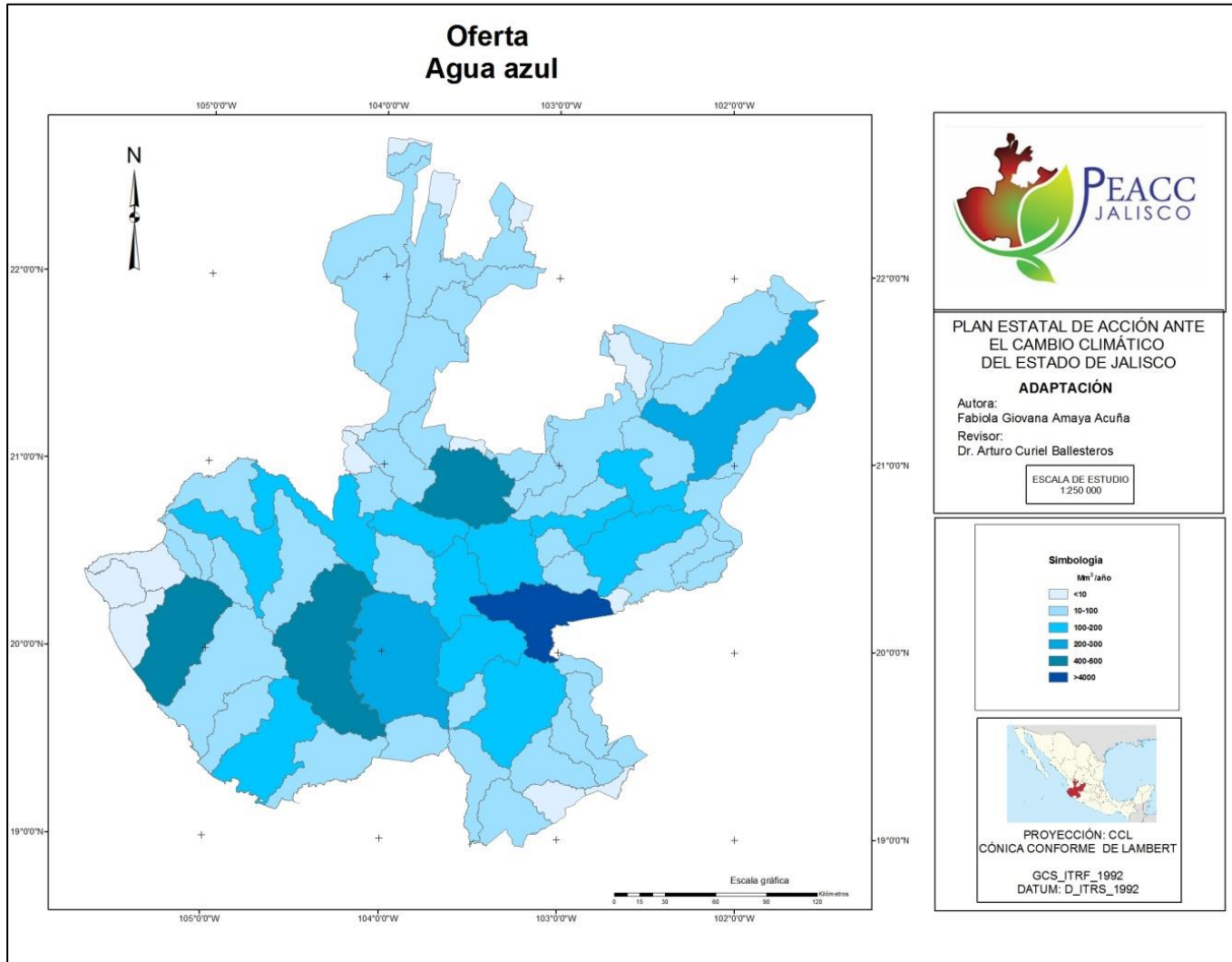


Figura 16. Oferta: Agua azul (Mm³).

Referente a la recarga de agua subterránea, en la subcuenca R. de los Lagos existen los más altos niveles, siendo éstos mayores a los 200 Mm³/año (ver Figura 17).

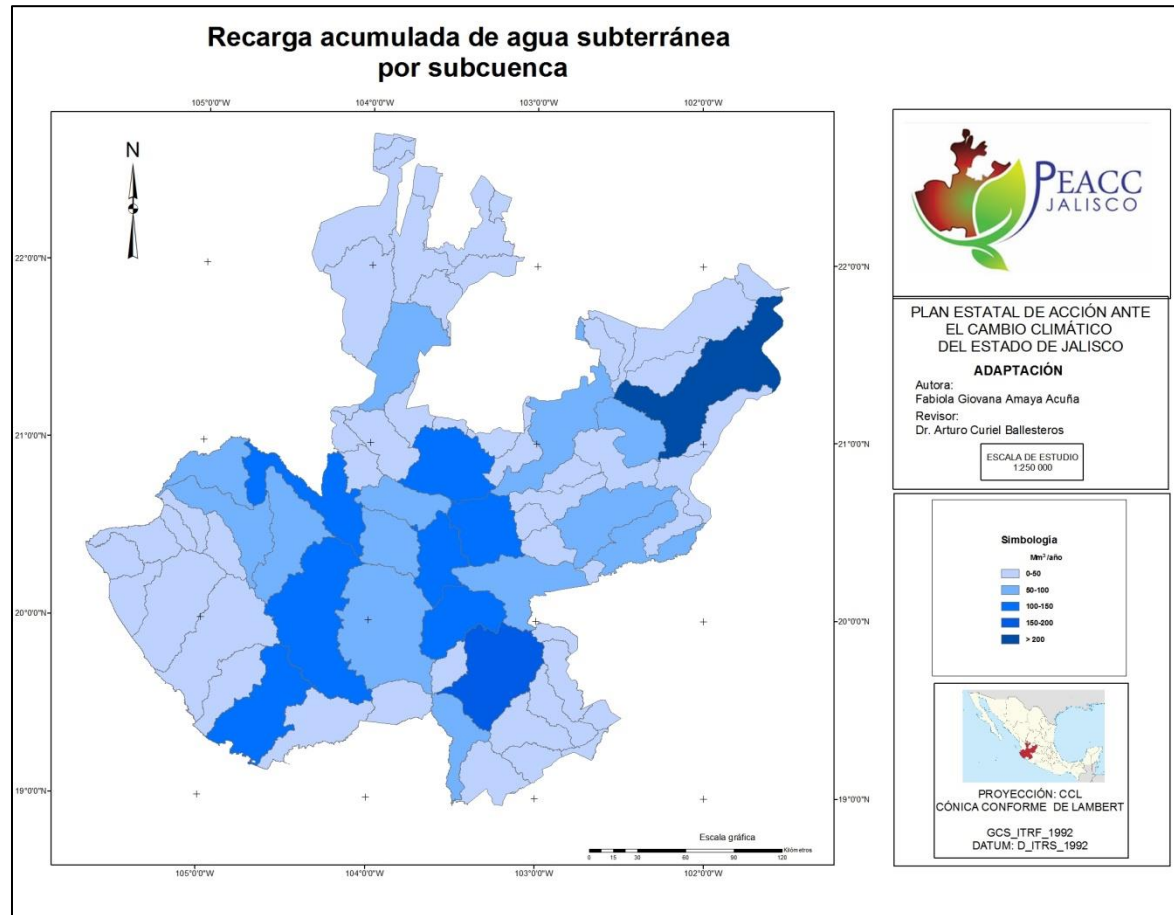


Figura 17. Recarga acumulada de agua subterránea por subcuenca (Mm³).

Vulnerabilidad hídrica en Jalisco. Se agruparon los resultados en ocho categorías, representando con colores más cálidos las subcuencas más vulnerables, ver Figura 18. “Vulnerabilidad hídrica del estado de Jalisco”.

En las categorías Extrema, Aguda y Severa, la jerarquía está en función de los resultados de la relación D/O de agua azul. La relación D/O de agua verde sólo fue considerada en estas categorías como presencia de vulnerabilidad.

En la categoría Alta, sólo existe vulnerabilidad en el agua azul. En las categorías Moderada, Leve y Baja, la demanda de agua azul es compensada con la oferta existente, no siendo así el caso de demanda de agua verde, encontrando valores de demanda hasta cuatro veces más a la oferta hídrica.

La última categoría es Sin vulnerabilidad aparente, simbolizando que la demanda en la subcuenca no sobrepasa el valor de la oferta.

La categoría Extrema, que representa una demanda de agua azul de cinco a ocho veces más que la oferta y una demanda superior a la oferta de agua verde, describe a tres subcuencas: R. Grande, en la Región Altos Norte; R. Mismaloya, localizada en la Región Costa Norte; por último, la subcuenca R. Briseñas – L. Chapala en la Región Ciénega.

Continuando, la categoría de vulnerabilidad Aguda representa una demanda de cuatro a cinco veces más de oferta hídrica, las subcuencas que presentan esta condición son R. Encarnación y R. San Miguel, ambas ubicadas en la Región Altos Norte. La relación de los datos referentes a la oferta y la demanda de las subcuencas citadas se describen a continuación.

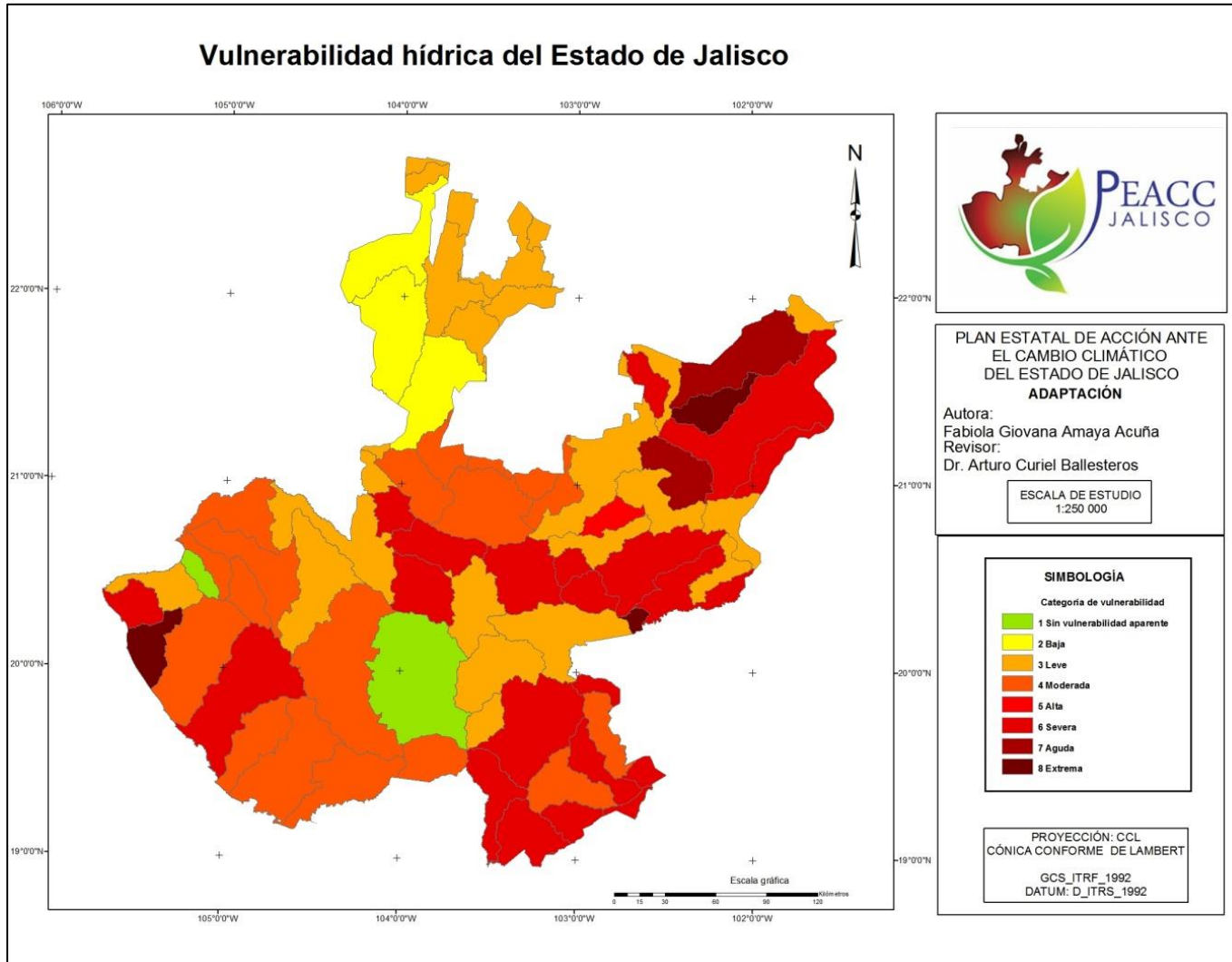


Figura 18. Vulnerabilidad hídrica del estado de Jalisco.

R. Grande. En esta subcuenca, como puede observarse en la Figura 19, la mayor presión está siendo efectuada por dos sectores: el agrícola y el pecuario. La demanda agrícola está relacionada a la producción de maíz, alfalfa, pastos y avena. De estos cultivos el que crea una mayor presión es el maíz por las grandes extensiones del territorio dedicadas a su producción, con presencia de temporal y de riego, siendo así insuficiente la oferta hídrica para satisfacer dicha demanda. Además, la producción de alfalfa y pastos agudiza esta condición, al ser perennes, de riego y con un uso consuntivo acumulado por hectárea aproximadamente* tres veces más que el estimado para el maíz. La demanda del sector pecuario, es el resultado de la productividad de bovino de leche y carne en los municipios de Encarnación de Díaz, Lagos de Moreno, San Juan de los Lagos y Teocaltiche.

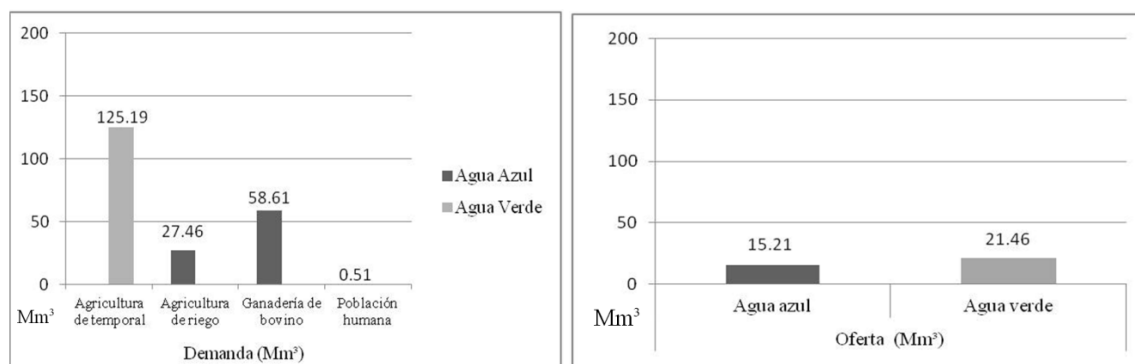


Figura 19. Relación Demanda/Oferta Subcuenca R. Grande

R. Mismaloya. La presión sobre el recurso hídrico en la subcuenca, es generada principalmente por el sector agrícola para producción de pastos de riego y temporal (Figura 20), que de acuerdo a las estimaciones realizadas, el uso consuntivo acumulado es de aproximadamente 23,000 m³/ha, por lo que la propia subcuenca no es capaz de abastecer esta demanda.

* El uso consuntivo depende de la temperatura registrada para cada municipio en donde fue calculado, pero los valores rondan sobre esa cifra, es por eso que se escribe 'aproximadamente'.

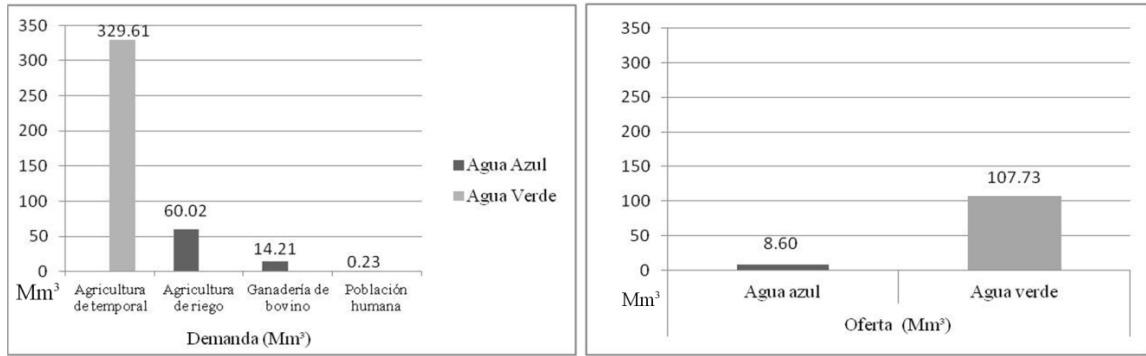


Figura 20. Relación Demanda/Oferta Subcuenca R. Mismaloya

R. Briseñas - L. Chapala. En esta subcuenca la presión sobre el agua está siendo efectuada por el sector agrícola (Fig. 21), siendo los cultivos de maíz, trigo y cártamo que por superficie sembrada se han considerado representativos. La producción de maíz es de temporal, pero los cultivos de trigo y cártamo son de riego, lo que genera una demanda de 39.81 Mm³ para su producción durante el ciclo Otoño-Invierno.

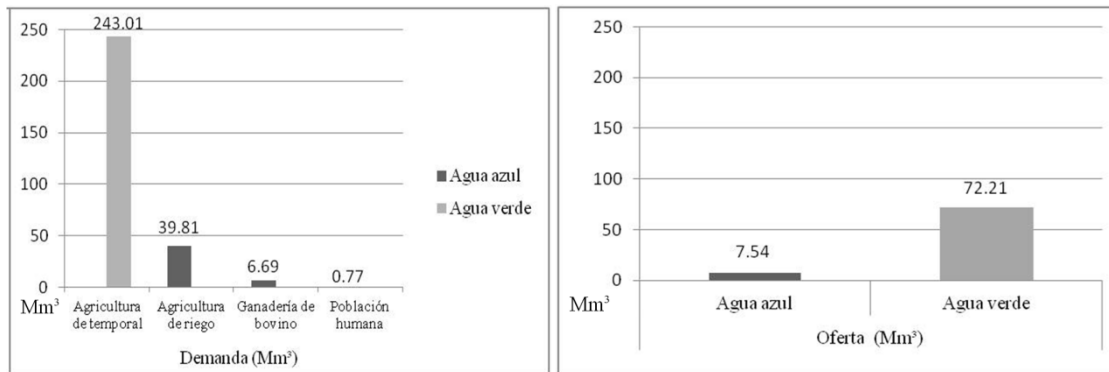


Figura 21. Relación Demanda/Oferta Subcuenca R. Briseñas - L. Chapala.

R. San Miguel. En esta subcuenca es mayor la cantidad de oferta de agua azul, así como la demanda hídrica por parte de los sectores agrícola y pecuario (ver Figura 22), siendo consecuente la categoría de vulnerabilidad. Por parte del sector agrícola, los cultivos de riego que fueron considerados representativos para el cálculo de la demanda fueron de ciclo Otoño-Invierno, la avena, de ciclo perenne: alfalfa y pastos. La demanda del sector

pecuario es de los municipios de Arandas, Jalostotitlán, San Juan de los Lagos, San Julián, San Miguel el Alto, Valle de Guadalupe y Cañadas de Obregón.

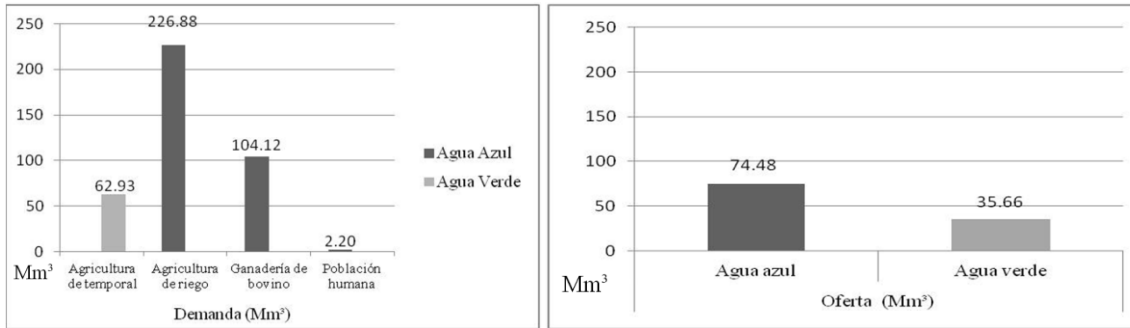


Figura 22. Relación Demanda/Ofería Subcuenca R. San Miguel.

R. Encarnación. Los sectores que están ejerciendo una mayor presión sobre el agua, son el agrícola y el pecuario (ver Fig. 23), siendo los cultivos representativos para calcular la demanda en la subcuenca: maíz de temporal y riego, frijol de temporal, avena de riego y los cultivos perennes de riego: alfalfa y pastos. Los municipios productores de leche y carne de bovino presentes en esta demanda son: Encarnación de Díaz, Lagos de Moreno, Ojuelos y Teocaltiche.

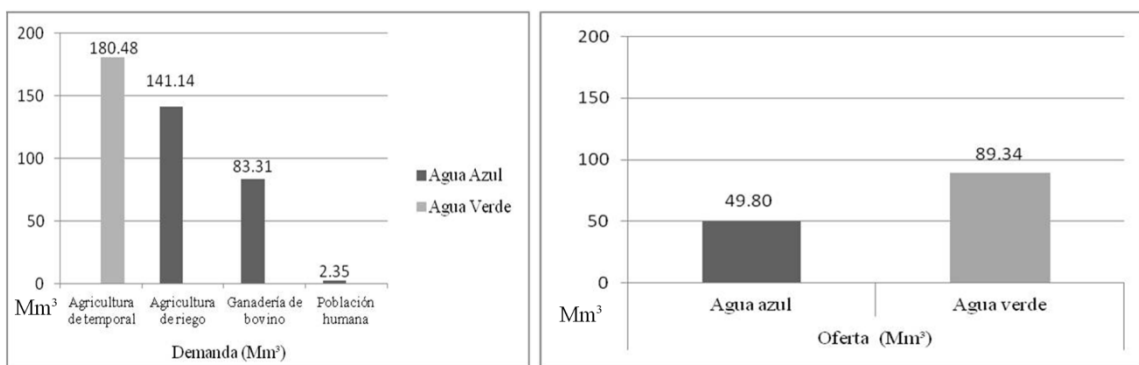


Figura 23. Relación Demanda/Ofería Subcuenca R. Encarnación.

10.3. Posibles medidas de adaptación para disminuir la vulnerabilidad hídrica en Jalisco

Después de realizar una investigación bibliográfica y la integración de alternativas facilitadas por investigadores tanto del grupo núcleo de Adaptación del PEACC-Jalisco como externos, se obtuvieron las medidas de adaptación que fueron incorporadas en las Tablas 22 y 23.

Tabla 22. Medidas de adaptación a sequía para el sector agropecuario.

Sector afectado	Estrategia de Adaptación	Elemento del sistema	Práctica			
			Mecánica	Vegetativa	Cultural	Política
Agropecuario	Aumento de la oferta de agua	Agua Verde	Arado profundo	Abonos verdes	Cultivo en invernadero	Restauración y conservación de cuencas
			Labranza de conservación	Acolchado sobre el suelo	Evitar el sobrepastoreo	Limitar el crecimiento de tierras agrícolas y ganaderas en zonas de riesgo a sequía
			Riegos nocturnos	Aplicar materia orgánica sobre el suelo	Rotación de cultivos	
			Riego eficiente	Cortinas rompevientos	Medidas culturales para pedir agua de lluvia	
			Surcado a nivel	Cercas vivas	Evitar el uso de fuego en terrenos agropecuarios	
			Terrazas			
		Nivelación de terrenos				
		Agua Azul	Revestimiento de canales		Reuso de aguas grises	Restauración y conservación de cuencas
			Malla de niebla			Limitar el crecimiento de tierras agrícolas y ganaderas en zonas de riesgo a sequía
			Recarga artificial de acuíferos			
	Captación de agua de lluvia					
	Disminuir la demanda de agua	Agua verde		Variedades de ciclo corto	Cambio de fecha de siembra	Limitar el crecimiento de tierras agrícolas y ganaderas en zonas de riesgo a sequía
				Diversificación de cultivos	Rotación de potreros	
				Especies de plantas resistentes a sequía	Cambio de dieta del ganado	
					Diversificación de alimento para ganado	
		Agua azul	Riegos nocturnos		Agricultura urbana	Áreas protegidas agropecuarias
			Riego eficiente		Cambio de especies de ganado	Campaña de ahorro de agua
					Consumo de nuevas especies de ganado	Limitar el crecimiento de tierras agrícolas y ganaderas en zonas de riesgo a sequía
					Cultura del agua	
					Destete precoz	
				Reducción de cabezas de ganado		

Tabla 23. Medidas de Adaptación a sequía para el sector población humana.

Sector afectado	Estrategia de Adaptación	Elemento del sistema	Práctica			
			Mecánica	Vegetativa	Cultural	Política
Población humana	Aumento de la oferta de agua	Agua verde				
		Agua azul	Pozos de absorción		Estimulación de lluvia	Restauración y conservación de cuencas
			Desalinización		Riego nocturno	Rehabilitación de la infraestructura natural (parques públicos y ANP's)
			Recarga artificial de acuíferos			Protección de las zonas de recarga de acuíferos
			Colector de agua de lluvia			Saneamiento de agua contaminada
			Almacenamiento de agua			Construcción de presas
			Reuso de agua			
			Techos para captación de agua de lluvia			
	Captación de aguas pluviales y negras de manera diferenciada para su aprovechamiento					
	Disminución de la demanda de agua	Agua azul	Reuso de agua		Nueva Cultura del agua	Reparación de fugas de la red hidráulica para abastecimiento
			Regaderas con bajo consumo de agua		Riego nocturno	Campañas de ahorro de agua y consumo responsable de agua
			Sanitarios con baja demanda de agua			Uso limitado de piscinas
		Agua verde				

10.4. Evaluación de medidas de adaptación

Antes de realizar la evaluación de las medidas de adaptación, se realizó la selección de 19 medidas de adaptación para el sector agropecuario con mejor puntaje en la evaluación del grupo de Adaptación del PEACC-Jalisco, ya que considera un mayor número de criterios y bajo la justificación de la vinculación existente con este trabajo. De esta manera, se presentan los valores otorgados a los criterios de evaluación de esta investigación para cada una de las medidas de adaptación en las Tablas 24 y 25.

Tabla 24. Evaluación de medidas de adaptación a sequía del sector agropecuario.

Medida de adaptación	Estrategia de adaptación	Compatibilidad social	Efectividad	Tiempo	Cobeneficios	Presiones al ambiente	Σ
Captación de agua de lluvia	Aumentar la oferta	5	4	4	5	4	22
Limitar el crecimiento de tierras agrícolas y ganaderas en zonas de riesgo a sequía	Aumentar la oferta	4	5	3	4	5	21
Acolchado sobre el suelo	Aumentar la oferta	3	4	4	4	5	20
Aplicar materia orgánica al suelo	Aumentar la oferta	3	3	4	4	5	19
Cambio de especies de ganado	Disminuir la demanda	1	5	4	4	5	19
Evitar el uso de fuego en terrenos agropecuarios	Aumentar la oferta	3	3	4	5	4	19
Restauración de cuencas	Aumentar la oferta	1	5	2	5	5	18
Áreas protegidas agropecuarias	Disminuir la demanda	2	5	3	2	5	17
Nueva Cultura del agua	Disminuir la demanda	1	5	1	5	5	17
Abonos verdes	Aumentar la oferta	1	3	5	2	5	16
Medidas culturales para pedir agua de lluvia	Aumentar la oferta	1	3	5	2	5	16
Riego eficiente	Disminuir la demanda	1	4	4	2	5	16
Diversificación de cultivos	Disminuir la demanda	1	3	4	2	5	15
Surcado a nivel	Aumentar la oferta	1	3	5	2	4	15
Variedades de ciclo corto	Disminuir la demanda	2	3	5	1	4	15
Cambio de fecha de siembra	Disminuir la demanda	2	1	5	1	4	13
Rotación de potreros	Disminuir la demanda	2	4	4	1	2	13
Campaña de ahorro de agua	Disminuir la demanda	1	1	3	2	5	12
Reuso de aguas grises	Aumentar la oferta	1	4	3	1	2	11

Tabla 25. Evaluación de medidas de adaptación a sequía del sector urbano.

Medida de adaptación	Estrategia de adaptación	Compatibilidad social	Efectividad	Tiempo	Cobeneficios	Presiones al ambiente	Σ
Nueva Cultura del agua	Disminuir la demanda	5	5	2	5	5	22
Protección de las zonas de recarga de acuíferos	Aumentar la oferta	5	4	2	5	5	21
Restauración y conservación de cuencas	Aumentar la oferta	4	5	1	5	5	20
Rehabilitación de la infraestructura natural (parques públicos y las ANP)	Aumentar la oferta	4	3	3	5	5	20
Captación de aguas pluviales y negras de manera diferenciada para su aprovechamiento	Aumentar la oferta	5	3	4	4	4	20
Sanitarios con baja demanda de agua	Disminuir la demanda	3	4	5	2	5	19
Saneamiento de agua contaminada	Aumentar la oferta	4	3	4	3	5	19
Regaderas con bajo consumo de agua	Disminuir la demanda	2	4	5	2	5	18
Reparación de fugas en red hidráulica para abastecimiento y tomas de agua.	Disminuir la demanda	5	4	4	1	4	18
Techos para captación de agua de lluvia	Aumentar la oferta	2	4	5	1	4	16
Riego nocturno	Disminuir la demanda	2	3	4	2	5	16
Colector de agua de lluvia	Aumentar la oferta		3	4	1	4	12
Uso limitado de piscinas	Disminuir la demanda		2	4	1	5	12
Reuso de agua	Disminuir la demanda		3	4	1	4	12
Pozos de absorción	Aumentar la oferta		3	4	1	4	12
Recarga artificial de acuíferos	Aumentar la oferta		3	4	1	4	12
Desalinización	Aumentar la oferta		3	4	1	4	12
Campañas de ahorro de agua y consumo responsable de agua	Disminuir la demanda		1	3	2	5	11
Estimulación de lluvia	Aumentar la oferta		2	4	1	4	11
Construcción de presas	Aumentar la oferta	1	4	2	1	1	9
Almacenamiento de agua	Aumentar la oferta		2	4	1	1	8

De acuerdo a la evaluación realizada, las mejores medidas de adaptación con base en los criterios planteados y reconociendo la vulnerabilidad hídrica particular de las regiones, son las siguientes:

Tabla 26. Mejores medidas de adaptación a sequía: sector agropecuario.

Sector afectado	Estrategia de adaptación	Elemento del sistema	Práctica			
			Mecánica	Vegetativa	Cultural	Política
Agropecuario	Aumento de la oferta de agua	Agua Verde		Abonos verdes	Medidas culturales para pedir agua de lluvia	Restauración y conservación de cuencas
				Acolchado sobre el suelo	Evitar el uso de fuego en terrenos agropecuarios	
				Aplicar materia orgánica sobre el suelo		
		Agua Azul	Captación de agua de lluvia			
	Disminuir la demanda de agua	Agua verde				Limitar el crecimiento de tierras agrícolas y ganaderas en zonas de riesgo a sequía
		Agua azul	Riego eficiente		Nueva Cultura del Agua Cambio de especies de ganado	Áreas protegidas agropecuarias

1. *Captación de agua de lluvia.* Refiere al almacenaje por medio de jagüeyes artificiales u otro tipo de modificación del terreno de pequeña escala, aumentando la oferta de agua azul.

2. *Limitar el crecimiento de tierras agrícolas y ganaderas en zonas de riesgo a sequía.* Medida de adaptación vinculada a los Programas de Ordenamiento Ecológico Territorial, que de manera preventiva considera dentro de la planeación el riesgo a sequía, de esta manera también se disminuye la presión del subsistema productivo sobre el natural, al ser menores los niveles de demanda sobre las zonas consideradas.

3. *Acolchado sobre el suelo.* Medida de adaptación que considera colocar sobre el suelo cualquier tipo de material orgánico o inorgánico, con la finalidad de proteger al suelo de pérdida de humedad.

4. *Aplicar materia orgánica al suelo.* Medida de adaptación que considera colocar sobre el suelo material orgánico, con la finalidad de proteger al suelo de pérdida de humedad.

5. *Cambio de especies de ganado.* Con la finalidad de reducir la demanda, se propone la búsqueda de especies comerciales con menor huella hídrica.

6. *Evitar el uso de fuego en terrenos agropecuarios.* Medida de adaptación cultural propuesta con la finalidad de aumentar la humedad del suelo, previniendo la degradación del suelo y los incendios forestales por quemas no controladas.

7. *Restauración de cuencas.* Medida de adaptación que requiere de una visión integral del sistema, para lo cual se requiere de voluntad política para ejecutarla, ya que los límites de las cuencas, subcuencas o microcuencas no obedecen a los límites administrativos del territorio. En esta medida, son consideradas diversas acciones para la conservación del suelo y agua. Aunque en la Tabla 26 está ubicada en el aumento de la oferta de agua verde, es evidente que el alcance será también en el aumento de agua azul.

8. *Áreas protegidas agropecuarias.* Con el objetivo de brindar seguridad a la producción de alimentos, las áreas donde las condiciones naturales han permitido un desarrollo óptimo de actividades agropecuarias deberán de ser protegidas, favoreciendo y apoyando el manejo adecuado del territorio.

9. *Nueva Cultura del agua.* Se propone bajo la visión de la cultura del agua como un proceso de cambio individual y colectivo que reconoce la función del agua dentro del sistema, con acciones que permiten el equilibrio en el ciclo del agua, controlando la demanda hídrica.

10. *Abonos verdes.* Aunque es una práctica de integración de plantas en el suelo para mejorar la fertilidad, también es favorecido al aumentar la humedad.

11. *Medidas culturales para pedir agua de lluvia.* Con independencia de la efectividad de las medidas culturales para pedir agua de lluvia, esta medida se integra en la propuesta, al considerar imprescindible el respeto a la cosmovisión y apropiación del territorio de culturas ancestrales. Considerando que toda práctica debe ser incluyente, el conocimiento

del empoderamiento del territorio de los diferentes grupos sociales, enriquece y fortalece la propuesta externa.

12. Riego eficiente. Con la finalidad de que exista una menor pérdida de agua y optimizar su uso en la agricultura, se identifica a esta acción como una estrategia de reducir los niveles de demanda en la agricultura.

Para la población humana urbana, se presentan las mejores medidas de adaptación en la Tabla 27.

Tabla 27. Mejores medidas de Adaptación a sequía: población humana urbana

Sector afectado	Estrategia de adaptación	Elemento del sistema	Práctica			
			Mecánica	Vegetativa	Cultural	Política
Población humana	Aumento de la oferta de agua	Agua verde				
		Agua azul	Techos para captación de agua de lluvia		Nueva Cultura del agua	Restauración y conservación de cuencas
			Captación de aguas pluviales y negras de manera diferenciada para su aprovechamiento			Saneamiento de agua contaminada
						Rehabilitación de la infraestructura natural (parques públicos y las ANP)
						Protección de las zonas de recarga de acuíferos
	Disminución de la demanda de agua	Agua azul	Regaderas con bajo consumo de agua		Nueva Cultura del agua	Reparación de fugas en red hidráulica para abastecimiento y tomas de agua.
			Sanitarios con baja demanda de agua		Riego nocturno	
		Agua verde				

1. *Nueva Cultura del agua.* Se propone bajo la visión de la cultura del agua como un proceso de cambio individual y colectivo que reconoce la función del agua dentro del sistema, con acciones que permiten el equilibrio en el ciclo del agua, controlando la demanda hídrica.

2. *Protección de las zonas de recarga de acuíferos.* Esta medida de adaptación refiere a la necesidad de definir las zonas de recarga de acuíferos y evitar el cambio de uso de suelo a partir de un decreto de protección.

3. *Restauración y conservación de cuencas.* Medida de adaptación que requiere de una visión integral del sistema, para lo cual se requiere de voluntad política para ejecutarla, ya que los límites de las cuencas, subcuencas o microcuencas no obedecen a los límites administrativos del territorio. En esta medida, son consideradas diversas acciones para la conservación del suelo y agua. Aunque en la Tabla 27 está ubicada en el aumento de la oferta de agua azul, es evidente que el alcance será también en el aumento de agua verde, así como en la disminución de la demanda, dado que el objetivo es recuperar los servicios ecosistémicos.

4. *Rehabilitación de la infraestructura natural (parques públicos y las ANP).* Esta medida de adaptación está vinculada a recuperar los servicios ecosistémicos de la infraestructura natural en las áreas urbanas.

5. *Captación de aguas pluviales y negras de manera diferenciada para su aprovechamiento.* Implementar un sistema de captación que permita que las aguas pluviales no sean mezcladas con las residuales, pudiendo ser aprovechadas en usos donde no requiere de una calidad de agua específica (ejemplo: riego de jardines).

6. *Sanitarios con baja demanda de agua.* Siendo ésta una medida de adaptación mecánica ya que interviene la instalación de este sistema, también interviene lo cultural, pues se requiere que las personas elijan invertir en estos sistemas para obtener un uso eficiente del agua.

7. *Saneamiento de agua contaminada.* El tratamiento de aguas residuales urbanas también es ser considerado como una oferta de agua azul en esta investigación, tomando en cuenta que el agua de los hogares puede ser reutilizada con un posterior tratamiento.

8. *Regaderas con bajo consumo de agua.* Siendo ésta una medida de adaptación mecánica ya que interviene la instalación de este sistema, también interviene lo cultural, pues se requiere que las personas elijan invertir en estos sistemas para obtener un uso eficiente del agua.

9. *Reparación de fugas en red hidráulica para abastecimiento y tomas de agua.* Se propone la reparación de fugas en red hidráulica para abastecimiento y tomas de agua, con la

finalidad de reducir las pérdidas antes de la disposición para el usuario, lo que se traduce en una disminución de la demanda de agua azul.

10. Techos para captación de agua de lluvia. Siendo ésta una medida de adaptación mecánica ya que interviene la instalación de este sistema, también interviene lo cultural, pues se requiere que las personas elijan invertir en este sistema de aprovechamiento de agua de lluvia.

11. Riego nocturno. Con la intención de disminuir la demanda de agua para riego de jardines y áreas verdes en general, se propone un cambio cultural a partir de modificar el horario en que se riegan estos lugares, con lo que se tiene un uso eficiente del agua y la planta puede aprovecharla mejor.

11. Discusión

Los dos diagnósticos realizados en este estudio permiten identificar en el estado de Jalisco tres tipos de sequía: meteorológica, agrícola y socioeconómica. Los dos primeros tipos de sequía responden a un fenómeno físico en el cual los niveles de precipitación y la capacidad del suelo de almacenar humedad, son los elementos preponderantes para que ocurra la sequía; sin embargo, la sequía socioeconómica está en función de la oferta de agua y la demanda que ejercen los sistemas productivos sobre el recurso hídrico (Wilhite *et al.*, 1985).

En la interpretación de los resultados del diagnóstico del balance hídrico, podemos obtener un indicador de amenaza a sequía de dos tipos: meteorológica y agrícola, de acuerdo a la clasificación de Wilhite y Glantz (1985) en su artículo: “*Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions*”, en la Región Norte coincide la definición de sequía meteorológica, donde los niveles de precipitación son bajos y la evapotranspiración potencial elevada, lo cual propicia un nivel superior de estrés hídrico. Siendo el maíz de temporal, uno de los cultivos representativos de la Región, cuando la sequía se presenta en el periodo de floración o llenado de grano, interviene en la pérdida del rendimiento de la planta (Claassen y Shaw 1970; O’Toole y Moya, 1981). En la Región Altos Norte, a pesar de existir características meteorológicas similares, es decir, niveles bajos de precipitación y altos de evapotranspiración potencial, existe un factor que intensifica esta condición de déficit hídrico al potencializar el coeficiente de escurrimiento, el cual es el uso de suelo, pues la presencia de una intensa actividad agropecuaria en la Región debilita la capacidad de retener la humedad en el suelo, dado que no se favorece la permanencia de una cubierta vegetal que proteja al suelo de erosión (hídrica y eólica) y que permita la infiltración y retención del agua, aunado a las malas prácticas agropecuarias (sobrepastoreo, monocultivos, quemas agrícolas) que disminuyen esa capacidad de almacenar humedad; por consiguiente, el subsistema natural no proporciona la suficiente cantidad de agua verde para satisfacer a los cultivos; por lo tanto, a diferencia de la condición que presenta la Región Norte, la amenaza de acuerdo a este primer diagnóstico en la Región se trata de sequía agrícola.

El diagnóstico de vulnerabilidad hídrica en el cual se relaciona la demanda y la oferta, considerando a usuarios del agua de los sectores agrícola, pecuario y uso para consumo humano, esta valoración es con el objetivo de estimar en qué grado la demanda de agua es satisfecha (Comité Nacional sobre el Clima, 2001), observando que un territorio es vulnerable, cuando la demanda es igual o mayor a la oferta disponible, en este análisis se refuerza lo encontrado en el balance hídrico cuando los resultados indican que la condición más crítica por presentar la mayor demanda de agua está agrupada en Los Altos de Jalisco principalmente en la parte Norte, con subcuencas hidrográficas con un nivel de vulnerabilidad aguda, severa y extrema; siendo los sectores agrícola y pecuario los que ejercen la presión sobre el agua azul, agotando las reservas de agua subterránea, lo cual representa un desafío socioeconómico como lo describe la UNESCO (2012), dado que si la Región continúa con este crecimiento productivo, bajo el mismo esquema de aprovechamiento de recursos, tendrá un consecuente colapso del sistema. Siendo ya un análisis de Demanda/Oferta se puede definir como una sequía de tipo socioeconómica pues los niveles de demanda exceden la oferta, por un ineficiente uso del agua que por una parte se debe a una carente aplicación de tecnología o de tecnología inapropiada. De una manera más detallada para abordar al punto que se desea transmitir al lector, la tecnología aplicada en la agricultura tiene un beneficio a corto plazo, es decir, lo utilizado para mantener la producción tiene efecto en el ciclo vegetativo, pero su aplicación no trasciende de ese ciclo y por el contrario se degrada al suelo, como ejemplo son prácticas como la labranza y las quemadas agrícolas, las que de acuerdo a la FAO (2014) a mediano plazo resultan en una pérdida de materia orgánica, erosión y reducción en biodiversidad, lo que en este estudio se refleja en la disminución de la oferta de agua verde. Por lo tanto, se está sometiendo al suelo a un forzamiento ecológico el cual es definido por Toledo *et al.* (2007) como la apropiación que por alguna razón se efectúa por encima de la vocación productiva de los ecosistemas; a partir de lo anterior se identifica este forzamiento por parte del subsistema productivo no sólo por la presencia de especies que demandan mayores recursos y que comprometen la integridad del subsistema natural, sino que no se está favoreciendo a éste a conservar los servicios ecosistémicos al efectuar prácticas agrícolas como las citadas con anterioridad, las cuales no permiten la auto-regulación del subsistema natural.

Continuando con la problemática en la Región Altos Norte y Altos Sur, existe la producción de especies agrícolas de una elevada huella hídrica, éstas son alfalfa y pastos, las cuales son de riego y perennes, por lo tanto se está forzando al sistema a producir especies con una alta demanda. De acuerdo a los datos hasta tres veces más de agua es la demanda por la alfalfa en comparación con el maíz. El subsistema natural no es capaz de seguir sosteniendo estos niveles de consumo como lo demuestra la Figura 15. “Oferta de agua verde” que muestra la poca precipitación en la Región y por lo tanto es deficiente la recarga de los cuerpos de agua, aunque esté presente una recarga acumulada de agua subterránea considerable (Fig. 17), sigue siendo insuficiente para sostener los niveles de producción. La producción de maíz para alimento o forrajero tiene una menor huella hídrica; sin embargo, la gran cantidad de hectáreas dedicadas a su producción es lo que está generando la presión sobre el agua. Dentro de este mismo marco de producción de maíz, alfalfa y pastos, cabe resaltar que en la Región Altos Norte con un mayor indicador de amenaza y de vulnerabilidad hídrica, se están invirtiendo recursos no para la producción de alimentos sino para forraje, entendiendo como ‘alimento’ lo definido en el *Codex Alimentarius* (FAO, 1997) “toda sustancia, elaborada, semielaborada o bruta, que se destina al consumo humano, incluyendo las bebidas, el chicle y cualesquiera otras sustancias que se utilicen en la fabricación, preparación o tratamiento de los alimentos.” Por ejemplo en Encarnación de Díaz, Lagos de Moreno, Teocaltiche, San Diego de Alejandría y San Juan de los Lagos, son más las hectáreas para producción de especies forrajeras que las dedicadas para la producción de alimentos, lo que permite emitir lo siguiente: si en lugar de dedicar hectáreas para producción de forraje se aprovecha la vocación del suelo y la disponibilidad e inversión de recursos para producir alimentos ¿no sería éste un modelo eficiente de utilización de recursos? Claro está que, para lograr lo anterior es imprescindible un cambio en los hábitos alimenticios del consumidor, sin embargo, este planteamiento queda limitado a su ideación en esta investigación. Bajo esta misma línea se resalta al sector pecuario (íntimamente relacionado con la agricultura), pues la ganadería de bovino de leche, también presenta una elevada huella hídrica según Mekonnen *et al.* (2012), que es de 2056 m³/cabeza/año y los resultados presentados principalmente en las Figuras 22 y 23 que representan la relación Demanda/Oferta de las subcuencas de R. San Miguel y R. Encarnación, indican que este sector tiene mayor aporte en sobrepasar la capacidad de

carga de las subcuencas hidrográficas y realizando un forzamiento ecológico, dado que los recursos son insuficientes para desarrollar la actividad sin comprometer el equilibrio del subsistema natural.

Otro elemento que se consideró en este estudio, además de los subsistemas productivos fue antecedente presentado de los escenarios A2 de cambio climático de precipitación y temperatura generados por el Grupo de adaptación del PEACC-Jalisco (Ramos *et al.*, 2014), que advierten que las condiciones meteorológicas no favorecerán a la Región, dado que se tendrán mayores niveles de precipitación media anual, a consecuencia de lluvias más intensas, sin embargo, los períodos de estiaje serán más prolongados de acuerdo a este escenario, por lo que, el sector agrícola continuará con el problema de escasez de agua para cubrir las necesidades del cultivo, ya que este tiene un ciclo y requerimientos hídricos diferenciados durante su desarrollo de acuerdo al Uso Consuntivo calculado para los cultivos representativos. Para el caso de la temperatura media anual se proyecta un escenario con un incremento de temperatura, con lo que la demanda de los sectores productivos se verá incrementada, dado que está condicionada por esta variable. Por lo tanto, con un crecimiento del actual subsistema productivo, un consecuente incremento de la demanda de recursos, con condiciones meteorológicas que aumentarán la demanda (temperatura) y disminuirán la oferta (precipitación), nos obliga a cambiar ahora, el *desafío del cambio futuro* debemos empezar a enfrentarlo, dejarlo para mañana es apostar por el decrecimiento socioeconómico de la Región.

Ahora bien, ya se ha comentado que las subcuencas donde se encuentra la ZMG también son consideradas vulnerables por su nivel de exposición al concentrar 2/3 de la población total de Jalisco. De acuerdo al indicador de CONAGUA (2009c) “*Disponibilidad per capita*” las cuencas que se encuentran parcial o totalmente en el estado de Jalisco, cuentan con una disponibilidad muy baja a mediana, reforzando de manera más específica este indicador los resultados presentados en esta investigación, la ZMG está ejerciendo presión sobre cuatro subcuencas como lo muestra la Figura 14. El crecimiento poblacional y urbanización en estas subcuencas requieren de estrategias de planeación a largo plazo, considerando como desafío la presión del cambio futuro por parte del crecimiento poblacional urbano, cuando las proyecciones señalan que para el 2030 la población será de 7’787,954 habitantes (CONAPO, 2008), la demanda de recursos naturales será mayor y

como lo señala la UNESCO (2012) se incrementarán los desafíos para el abastecimiento de agua segura y saneamiento básico y tendrán un impacto tremendo sobre el medio ambiente. Para este desafío se integra el concepto Agua-vida de la Nueva Cultura del Agua, para que todas las localidades tengan abastecimiento para necesidades básicas (lo recomendado por la OMS es de 50-100 l) y no exista inequidad social, es decir, en este estudio se está considerando que todos los jaliscienses tienen acceso al agua potable los 365 días del año, sin embargo, se tiene conocimiento de que la realidad es otra, incluso en la ZMG existen colonias que no tienen acceso al agua entubada, de acuerdo a López Ramírez *et al.*, (2012), menciona que alrededor de 180,000 habitantes, su consumo de agua es menor, ya que sus mecanismos de aprovisionamiento son informales o por acarreo por pipa, situación preocupante al ser Tlajomulco, el municipio con el mayor crecimiento poblacional, al integrarse 197 mil habitantes, y pasar de 220 mil a 417 mil pobladores (COEPO, 2011) y que además la subcuenca R. Corona – R. Verde en la que se localiza el municipio, refleja ya una condición de vulnerabilidad severa en el diagnóstico realizado en este estudio (Figura 18). Sin embargo, satisfacer la necesidad básica de los humanos del acceso al agua, no debe limitarse sólo a los humanos, sino que debe de considerar a los diferentes seres vivos en la naturaleza, integrando en la planeación el ‘caudal ecológico’, es decir, considerar en la planeación el rol estratégico del agua.

Una vez analizado el escenario de vulnerabilidad, en la búsqueda de una propuesta para las regiones prioritarias para implementar medidas de adaptación como una oportunidad de enfrentar esta tendencia, en ambos sectores: agropecuario y población humana, los resultados presentados en las Tablas 26 y 27 donde se presentan las mejores medidas de adaptación para los sectores agropecuario y urbano, de acuerdo a los criterios de evaluación de esta investigación, coincide la presencia de la adaptación basada en los ecosistemas, que refiere al uso de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos como parte de una estrategia para mantener y aumentar la resiliencia, reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y la gente frente a los efectos adversos del cambio climático (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2009). Es decir, el forzamiento ecológico del que se habló al principio de este capítulo, debe ser detenido y revertido, una propuesta para lograrlo la presenta esta investigación, se necesita recuperar los servicios ecosistémicos que favorecieron que la actividad agropecuaria se estableciera principalmente en la Región Altos Norte. Con lo

anterior, su aplicación requiere de la voluntad política para la planeación del territorio bajo una visión a largo plazo e invertir los recursos financieros para lograrlo, lo que representa un desafío político, pero con la ventaja de que su aplicación no compromete la sustentabilidad del ecosistema.

En relación con la población humana urbana, la solución política actual para el abastecimiento de agua para los habitantes de la Zona Conurbada de Guadalajara, es la construcción de presas, la cual es una de las medidas con menor valor en los criterios planteados en el estudio, con un impacto ambiental negativo que se extiende a otras subcuencas hidrográficas y que además la compatibilidad social que se tuvo fue negativa, puesto que el 67% los participantes voluntarios la situó en la última posición. El historial existente en contra de las presas, presenta una gran participación y propuestas por parte de ciudadanos e investigadores, que dan alternativas para que no se construyan más presas, por lo tanto, considerar la participación y opinión pública en la decisión respecto a la construcción de presas representaría un claro ejemplo de un capital social activo en la toma de decisiones.

Por parte de los expertos, el Dr. Pedro Arrojo especialista e iniciador de la Nueva Cultura del Agua, en una entrevista realizada el 8 de junio de 2011 en el Congreso de Jalisco (Verdebandera Mx, 2011), menciona que antes de hacer presas hay acciones prioritarias para abastecer las necesidades, dentro de las cuales destaco dos por el estrecho vínculo con el presente estudio:

1. Responsabilidad de las ciudades, que incluye la disminución del nivel de fugas.
2. La clave para reducir la vulnerabilidad de la sociedad ante el cambio climático es aumentar la salud de los ecosistemas (humedales y recuperar acuíferos y ríos).

Lo declarado por Arrojo, coincide con los resultados de esta investigación, dado que dentro las cinco mejores medidas de adaptación para la población humana del sector urbano se encuentran: Nueva Cultura del agua, Protección de las zonas de recarga de acuíferos, Restauración y conservación de cuencas, Rehabilitación de la infraestructura natural (parques públicos y las ANP) y Captación de aguas pluviales y negras de manera diferenciada para su aprovechamiento. Como puede observarse tres de éstas involucran aumentar la salud de los ecosistemas o también puede ser visto desde el enfoque de

adaptación basada en los ecosistemas. Comparando estas medidas y la compatibilidad social que obtuvieron, las que tuvieron mayor aceptación es la Nueva Cultura del Agua, Protección de la zona de recarga de acuíferos y la Captación de aguas pluviales y negras de manera diferenciada para su aprovechamiento, en estas dos últimas para ser ejecutadas es necesaria la voluntad política. A pesar de eso, para implementar las medidas de adaptación es imprescindible el involucramiento y empoderamiento de todas las partes, es urgente que actuemos, porque cada día somos más, cada día nos gusta vivir mejor, pero el precio en que lo estamos logrando es insustentable, la naturaleza tiene capacidad de recuperarse, la historia de la vida lo confirma, la del humano no.

Finalmente, cabe señalar que este estudio debe considerarse como una primera aproximación de carácter cualitativo del diagnóstico del déficit hídrico y vulnerabilidad hídrica de Jalisco, con un avance a la propuesta de medidas de adaptación a sequía.

Reconociendo que, para una mayor exactitud en los resultados de estudios posteriores, será necesario integrar mayor número de variables y emplear una metodología que permita un acercamiento de carácter cuantitativo del diagnóstico del territorio.

12. Conclusiones

- La mayor amenaza de sequía meteorológica en Jalisco, está presente en las regiones Norte y Altos Norte por una condición meteorológica natural que propicia la presencia de climas semisecos, sin embargo, el inadecuado manejo de los recursos naturales potencializa esta condición, al modificar de manera negativa las características naturales de la región.
- La mayor amenaza de sequía socioeconómica en Jalisco, está presente en la Región Altos Norte, dado que ahí se encuentran las subcuencas hidrográficas con mayor vulnerabilidad hídrica con base al análisis de relación Demanda/Oferta. Esta condición crítica es por ejecutar su subsistema productivo (sector agropecuario) bajo un esquema de alta demanda de agua azul donde la oferta hídrica es insuficiente, puesto que el subsistema natural no es capaz de compensar esos niveles de consumo sin perder el equilibrio.
- Las dos subcuencas hidrográficas donde se encuentra localizada la ZMG son prioritarias para implementar medidas de adaptación por su nivel de exposición al concentrar 2/3 de la población total de Jalisco.
- El caso de la condición de vulnerabilidad hídrica en la Región Altos Norte y la comparativa con las condiciones que proyectan los escenario A2 de cambio climático de temperatura y precipitación, indican que si no se actúa ahora y se continúa con prácticas inadecuadas que sobrepasan los límites del subsistema natural, el subsistema productivo colapsará por la falta de recursos y se producirá la fractura de la resiliencia del medio natural.
- Las mejores medidas de adaptación a sequía para aumentar la oferta de agua en el sector agropecuario, de acuerdo a los criterios planteados en esta investigación son: Captación de agua de lluvia, Aplicar materia orgánica al suelo, Evitar el uso de fuego en terrenos agropecuarios, Restauración de cuencas, Abonos verdes y Medidas culturales para pedir agua de lluvia.
- Las mejores medidas de adaptación a sequía para disminuir la demanda de agua del sector agropecuario de acuerdo a los criterios planteados en esta investigación son: Limitar el crecimiento de tierras agrícolas y ganaderas en zonas de riesgo a sequía, Acolchado sobre

el suelo, Cambio de especies de ganado, Áreas protegidas agropecuarias, Riego eficiente y Nueva Cultura del Agua.

- Las mejores medidas de adaptación a sequía para aumentar la oferta de agua en la población humana sector urbano de acuerdo a los criterios planteados en esta investigación son: Nueva Cultura del agua, Protección de las zonas de recarga de acuíferos, Restauración y conservación de cuencas, Rehabilitación de la infraestructura natural (parques públicos y las ANP), Captación de aguas pluviales y negras de manera diferenciada para su aprovechamiento, Saneamiento de agua contaminada y Techos para captación de agua de lluvia.

- Las mejores medidas de adaptación a sequía para disminuir la demanda de agua en la población humana del sector agropecuario de acuerdo a los criterios planteados en esta investigación son: Nueva Cultura del agua, Sanitarios con baja demanda de agua, Regaderas con bajo consumo de agua, Reparación de fugas en red hidráulica para abastecimiento y tomas de agua y Riego nocturno.

- El grupo que integra las mejores medidas de adaptación que propone esta investigación, considerando la vulnerabilidad hídrica particular del territorio de Jalisco y después de realizada la evaluación de éstas bajo los criterios empleados en este estudio, permite no rechazar la hipótesis planteada en esta investigación, dado que en las acciones tanto del sector agropecuario como urbano (población humana) está intrínsecamente relacionado restaurar y conservar los servicios ecosistémicos y un involucramiento social a partir de un cambio cultural respecto al manejo del agua.

13. Bibliografía

Alcocer, M., A. Curiel y Ramírez, H. U. (2011). *Plan Estatal Acciones Cambio Climático Jalisco* [Documento WWW] URL <http://www.peaccjalisco.org/enunciadodealcance.htm> (Consultado 2012, febrero 25).

Arrojo, P., (2006). Los retos éticos de la Nueva Cultura del Agua. *Polis, Revista de la Universidad Bolivariana*, 5(14). En: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30551403> (Consultado 2014, abril 25).

Barbiric, M. 1984. *Water erosion and calculation of excess water (Guide to practical work)*. Argentina: Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Agronomía.

Cardona, O.D., Sarmiento, J.P. (1989). *Análisis de Vulnerabilidad y Evaluación del Riesgo para la Salud de una Población expuesta a desastres*. Colombia: Colombian Red Cross Society (CRC).

Claassen, M. M. y R.H. Shaw, (1970). Water deficit effects on corn. II. Grain components. *Agronomy Journal*. 62: 652-655.

Consejo Estatal de Población [COEPO] (2011). *Jalisco en cifras: una visión desde los resultados del Censo de Población 2010 y desde los programas públicos*. México.

Comisión Estatal del Agua [CEA] de Jalisco. *Jalisco en cuencas*. México. [Documento WWW]. URL <http://www.ceajalisco.gob.mx/cuencajal.html> (Consultado 2014, febrero 20).

Comisión Estatal del Agua [CEA] de Jalisco. *Sistema Estatal de Información del Agua*. México. [Documento WWW]. URL http://www.ceajalisco.gob.mx/sia/index_a.html (Consultado 2014, febrero 20).

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], (2009a). *Acuíferos Jalisco [formato shapefile]*. Escala no vista. Dirección técnica CONAGUA. México.

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], (2009b). *Cultura del Agua*. México: CONAGUA. En: <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=6&n2=146>

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2009c). *Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Jalisco*. México.

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2010). *Atlas digital del agua México 2010*. México.

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2012). *Disponibilidad del agua subterránea*. México. [Documento WWW]. URL <http://www.conagua.gob.mx/disponibilidad.aspx?n1=3&n2=62&n3=112> (Consultado 2014, febrero 20).

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2010). *Estadísticas del agua en México, edición 2010*. México.

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2002-2012). *Consulta directa de almacenamiento de presas de Jalisco*.

Comité Nacional sobre el Clima, (2001). *Vulnerabilidad-Adaptación y Mitigación al Cambio Climático*. Quito: Ministerio del Ambiente.

Consejo Nacional de Población [CONAPO] (2008). *Proyecciones de la población de México, de las entidades federativas, de los municipios y de las localidades, 2005-2050*. México.

Cushing, L. y J. Kopas (2011). *Principales impactos del cambio climático para los derechos humanos en América Latina*. Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (AIDA).

Dirección de cuencas y sustentabilidad (2012). *Sistema Estatal de Información del Agua de Jalisco: Principales presas*. Comisión Estatal del Agua [CEA] de Jalisco. [Documento WWW]. URL <http://www.ceajalisco.gob.mx/presas/presas.html> (Consultado 2012, febrero 25).

Dookie, D. (2009) La adaptación al cambio climático tiene que ver, sobre todo, con el agua... ONU-Agua. [Documento WWW]. URL http://www.unwater.org/downloads/UNWclimatechange_ES.pdf (Consultado 2013, febrero 25).

ENCC 2013. *Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40*. México: Gobierno de la República.

Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C., 2010. *Los números del agua*. [Documento WWW]. URL [Http://www.agua.org.mx/index.php?option=com_content&view=category&id=1134&Itemid=100067](http://www.agua.org.mx/index.php?option=com_content&view=category&id=1134&Itemid=100067) (Consultado 2012, febrero 25).

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] (2014). *Agricultura de Conservación*. [Documento WWW]. URL <http://www.fao.org/ag/ca/es/1a.html> (Consultado 2014, junio 28).

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] (2011). *Agua: clave de la seguridad alimentaria*. [Documento WWW]. URL <http://www.fao.org/news/story/es/item/86991/icode/> (Consultado 2012, febrero 25).

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] and World Health Organization [WHO], (1997). *Codex Alimentarius Commission: Procedural Manual*. Italia: FAO, WHO.

Fuentes Yagüe, J. L., (2000). *Iniciación a la meteorología y la climatología*. España: Mundi-Prensa.

Gobierno de la República, (2014). *Programa Nacional Hídrico 2014-2018*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Glavnoe Upravlenie Geodezii i Kartografii [GUGK]; USSR Academy of Science, (1964) *Physico-geographical atlas of the world*. Moscow: GUGK.

Halfpiter, G. (2003). *Biogeografía de la entomofauna de montaña de México y América Central*, En: J. J. Morrone & J. Llorente Bousquets (eds.). *Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía* (págs.87-97). México: Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM.

Heim, R.R., (2002). *A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States*. Bull. Am. Meteorol. Soc., 83: 1149-1165.

Hoekstra, A. Y., A. K. Chapagain, M.M. Aldaya, and M.M. Mekonnen, (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. London, UK: Earthscan.

Horton, R. (1945). *Erosial Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology*. Geol. Soc. Amer. Bull., 56, págs. 275-370.

Instituto de Información Territorial del Estado de Jalisco [IITEJ]. 2012. [Documento WWW]. URL http://www.jalisco.gob.mx/wps/portal/organismos/iit/%21ut/p/c5/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3ifEB8PY68gIwP_MC9nA6MwH3NLc8tgQwt_E6B8JE55A39jArrDQfbh1w-SN8ABHA30_Tzyc1P1C3IjDLJMHBUBZCQXXg%21%21/dl3/d3/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh (Consultado, Abril 2012).

Instituto Nacional de Ecología [INE] (2008). *El problema actual y futuro en Hermosillo es Disponibilidad de Agua*. México.

Instituto Nacional de Ecología [INE] Dirección General de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental, (2000). *El ordenamiento ecológico del territorio. Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000*. México: Dirección Ejecutiva de Participación Social, Enlace y Comunicación, INE.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC] (2012). Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México: Grupo Communicare, S. C.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática [INEGI] (2010). *Censo de Población y Vivienda, 2010* [Documento WWW]. URL <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?src=487&e=14> (Consultado 2012, marzo 6).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], (2010). *'Localidades de la República Mexicana, 2010'*, escala: 1:1. Obtenido de Principales resultados por localidad (ITER). Censo de Población y Vivienda 2010. Editado por Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2011a). *Cuéntame... información por entidad. Jalisco*. En: [Documento WWW] URL

<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/jal/territorio/clima.aspx?tema=me&e=14> (Consultado 2012, abril 6).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2011^b). *Panorama sociodemográfico de Jalisco*.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2012). *Simulador de flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas*. [Documento WWW]. URL http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/# (Consultado 2012, agosto 20).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2013). *México en cifras, información nacional, por entidad federativa y municipios*. En: [Documento WWW] URL <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=14> (Consultado 2014, febrero 20).

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, (2000). *Análisis del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en el Ecuador*. Ecuador: Comité Nacional sobre el Clima GEF-PNUD Ministerio del Ambiente.

IPCC, 2014: Annex XX: Glossary [Agard, J., E.L.F. Schipper, J. Birkmann, M. Campos, C. Dubeux, Y. Nojiri, L. Olsson, B. Osman-Elasha, M. Pelling, M.J. Prather, M.G. Rivera-Ferre, O.C. Ruppel, A. Sallenger, K.R. Smith, A.L. St. Clair, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, and T.E. Bilir (eds.)]. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. XXX-YYY.

IPCC, 2013: Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], (2007a). *Climate Change 2007. Synthesis Report*. Reino Unido.

Kundzewicz, Z.W., L.J. Mata, N.W. Arnell, P. Döll, P. Kabat, B. Jiménez, K.A. Miller, T. Oki, Z. Sen and I.A. Shiklomanov, (2007). *Freshwater resources and their management*. En Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], (2007b). *Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press (págs.173-210), Reino Unido.

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], (2000). *Escenarios de emisiones. Resumen para responsables de políticas. Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC*. OMM/PNUMA.

Lavell, A. (2003). *La gestión local del riesgo: nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica*. Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC), PNUD.

Ley de Aguas Nacionales. Diario Oficial de la Federación. México, 1º de diciembre de 1992. Última reforma 07-06-2013.

Ley de Desarrollo Sustentable. Diario Oficial de la Federación. México, 7 de diciembre de 2007. Última reforma 12-01-2012.

Magaña, V. O. y C. Gay (2001). *Vulnerabilidad y Adaptación Regional Ante El Cambio Climático y sus Impactos Ambiental, Social y Económicos*. México: INE.

L. T. Matveev, 1984. *Física de la atmósfera (en ruso)*. Leningrad-S. Peterburg: Gidrometeoizdat.

Meadowcroft, J. (2003). *Participación y estrategias para el desarrollo sostenible*. Inglaterra: University of Sheffield.

Mekonnen, M. M. & A. Y. Hoekstra, 2012. A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems*, 15(3): 401–415.

Mendoza, L. S., (2012). *Usos metropolitanos del agua*. México.

Naciones Unidas, (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. [Documento WWW] URL <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf> (Consultado 2012, febrero 25).

Naciones Unidas, (1997). *Cumbre para la Tierra +5*. [Documento WWW] URL <http://www.un.org/spanish/conferences/cumbre&5.htm> (Consultado 2012, febrero 20).

Nordenson, T.J. (1968). *Preparation of co-ordinated precipitation, runoff and evaporation maps*. Ginebra: WMO. (WMO-IHD report No. 6).

O'Toole, J.C. y T. B. Moya, 1981. Water deficits and yield in upland rice. *Field Crops Research* 4: 247-259.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], (2012). Programa Hidrológico Internacional (PHI), octava fase, Seguridad hídrica: respuestas a los desafíos locales, regionales y mundiales: plan estratégico, PHI-VIII (2014-2021). [Documento WWW] URL http://unesdoc.unesco.org/Ulis/cgi-bin/ulis.pl?catno=218061&set=53A1EAB9_0_341&gp=1&lin=1&ll=1 (Consultado 2014, mayo 20).

Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof y Coautores, (2007). *Resumen Técnico. Cambio Climático 2007: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad*. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

Rainbird, A.F. (1967). *Methods of estimating areal average precipitation*. Ginebra: WMO. (WMO-IHD report no. 3).

Ramos, S. L., G. Ramírez y A. Curiel, (2014). Los futuros del clima en Jalisco. En: Curiel (ed.), *Evidencias fundamentales del cambio climático en Jalisco; bases para modificar la predicción del desastre*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara, COECYTJAL-Fomix (en prensa).

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], (2013). *Atlas Agroalimentario 2013*. México: SAGARPA.

Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable [SEMADES], (1998). *Proyecto de Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Jalisco*. México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], (2010a). *Cambio Climático en México*. México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], (2010). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y su Protocolo de Kioto* [Documento WWW]. URL <http://www.semarnat.gob.mx/temas/internacional/Paginas/CMNUCC.aspx> (Consultado 2012, febrero 25).

Sokolov, A.A. (1968). *K teorii gidrologicheskogo Kartirovania (On the theory of hydrological mapping)*. Leningrad: All Union Geographical Society.

Toledo V. M. & M. González de Molina (2007). El metabolismo social: las relaciones entre la sociedad y la naturaleza. En: Garrido F., González de Molina M., Serrano J. L. y Solana J. L. (eds.), *El paradigma ecológico en las ciencias sociales* (pp. 85-112). Barcelona: España: Icaria editorial.

United Nations Secretary-General's High-level Panel on Global Sustainability (2012). *Resilient People, Resilient Planet: A future worth choosing*. Nueva York.

Verdebandera Mx, (2011). *Arreglar ineficiencias antes que hacer presas: Pedro Arrojo*. [Documento WWW]. URL <http://verdebandera.com.mx/arreglar-ineficiencias-antes-que-hacer-presas-pedro-arrojo/> (Consultado 2014, abril 6).

Wilhite, D.A.; and M.H. Glantz, (1985). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International* 10(3):111–120.

World Meteorological Organization [WMO] (1970). *Preparation of maps of precipitation and evaporation with special regard to water balances*. Ginebra: WMO.

World Health Organization [WHO], (2003). The Right to water. *Health and human rights publication series*; no. 3. ISBN: 9241590564.

World Wildlife Fund [WWF], (2010). *Caudal ecológico. Salud al ambiente, agua para la gente*. Documento [WWW] URL: http://awsassets.panda.org/downloads/fs_caudal_ecologico.pdf (Consultado 2014, abril 6).