



**Universidad Michoacana de
San Nicolás de Hidalgo**
Facultad de Economía "Vasco de Quiroga"
División de Estudios de Posgrado

**Dependencia de la producción agrícola con relación a la
seguridad hídrica en México: estudio explicativo de 2003-2017**

T E S I S

P R E S E N T A

M.C. Arcaeli Gabriela Andrade Servín

Para obtener el grado de

Doctora en Ciencia en Desarrollo Sustentable

Director de Tesis

Dra. Hilda R. Guerrero García Rojas

Morelia, Michoacán, octubre 2019





Universidad Michoacana de San Nicolás De Hidalgo

Facultad de Economía "Vasco de Quiroga"

División de Estudios de Posgrado

Dependencia de la producción agrícola con relación a la seguridad hídrica en México: estudio explicativo de 2003-2017

TESIS realizada por M.C. Arcaeli Gabriela Andrade Servín, bajo la asesoría del Comité Tutorial indicado, aprobada por el Jurado Sinodal y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

Doctora en Ciencia en Desarrollo Sustentable

| COMITÉ TUTORAL | JURADO | NOMBRE | FIRMA |
|--------------------------------|------------|--|-------|
| Tutor 1 (Director de tesis) | Presidente | Dra. Hilda R. Guerrero García Rojas | _____ |
| Tutor 2 | Vocal 1 | Dr. René Colín Martínez | _____ |
| Tutor 3 | Vocal 2 | Dr. Manuel Ricardo Romo de Vivar Mercadillo | _____ |
| Tutor 4 | Vocal 3 | Dra. Angélica Sánchez Gómez | _____ |
| Tutor 5 | Vocal 4 | Dr. Luis Alberto Seguí Amórtegui | _____ |

Morelia, Michoacán. Octubre 2019

Agradecimientos

Primeramente, quiero agradecer a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) por darme la oportunidad de formarme como profesionista, y a la Facultad de Economía (FEVAQ) por dejarme ser parte de su comunidad estudiantil. Así como, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme el apoyo financiero para desarrollar la presente investigación y aportar un poco de conocimiento e investigación a nuestro país.

Posteriormente, quiero agradecer muy afectuosa y respetuosamente el apoyo del Dr. Pablo Chauca y Dr. Hugo Amador por sus ánimos y porras para postularme en el Programa de doctorado (DODESU).

De igual manera, a la Dra. Hilda Guerrero por darme la oportunidad de ser su asesora, agradezco tanto sus enseñanzas, así como a mis profesores del doctorado y en especial a los que forman parte de mi Comité Tutorial (Dr. Colín y Dr. Romo), por sus exigencias, consejos y compartir sus opiniones para que este trabajo se concluyera de la mejor manera. También, a mis asesores externos (Dra. Sánchez y Dr. Seguí) por sus valiosas aportaciones.

Finalmente, a mis compañeros de generación del doctorado (2014-2019), agradezco sus diversos puntos de vista, los cuales contribuyeron a mejorar el marco teórico. De manera especial, quiero agradecer a mis compañeros Arturo, Lenin y Humberto por su apoyo, charlas y buenos ratos para que el peregrinaje fuera más ligero. Así mismo, al M.C. Sergio García Huerta por el apoyo estadístico (explicaciones y sugerencias) en la presente investigación, su ayuda fue fundamental en el análisis matemático y la redacción de la investigación, sus aportaciones fueron sustanciales y las muestras de amistad. Por conocer el valioso significado de una “manzana”.

De manera muy especial, a mis grandes amigos (Mtro. Hugo y Dr. Crisanto) por sus ánimos y motivación para seguir adelante en esos momentos de desesperación y hacerme ver que siempre podemos dar lo mejor de nosotros mismos y querer superarse más cada día; además, de recordarme siempre que “el querer, es poder”. Todo sacrificio y esfuerzo es bien recompensado.

A mi jefazo Paco, por compartir tantas vivencias en el posgrado (antes, durante y después), por sus palabras de aliento y compartir vitaminas.

Resumen:

En México existen 13 organismos de cuenca, los cuales se comportan de manera diferente en cuanto a la disponibilidad de agua, así como, la producción de alimentos agrícolas generados. El objetivo del presente estudio es conocer el grado de dependencia de la seguridad hídrica (millones de m³) y la producción agrícola de riego (ton) de 2003 a 2017 en México a través de un modelo de datos panel. Los resultados mostraron que la producción agrícola está determinada en un 87% por la disponibilidad de agua. El cambio porcentual de la producción agrícola con respecto al uso del agua es de 42%; por cada aumento del 100% en el uso del agua. Particularmente, Pacífico Norte y Lerma-Santiago-Pacífico presentaron mayor producción agrícola y requirieron mayor volumen de agua para riego. Por lo tanto, se muestra que la cantidad de la producción agrícola está estrechamente ligada a la cantidad de recurso hídrico que se disponga en cada organismo de cuenca. El modelo reveló un 88% de confiabilidad de la dependencia entre la seguridad hídrica y la producción agrícola de riego, no se registra una autocorrelación entre los datos, por lo tanto, no existe sesgo. Existe una estrecha relación de la producción agrícola de riego con la seguridad hídrica a nivel nacional. Con este tipo de estudios, nos permite conocer el comportamiento de cada organismo de cuenca para mejorar el uso y aprovechamiento del recurso hídrico enfocado hacia la sustentabilidad, y con ello, contrarrestar las diferencias regionales en un mediano plazo.

Palabras clave: organismos de cuenca, seguridad hídrica, producción agrícola de riego, datos de panel, sustentabilidad.

Abstract:

In Mexico there are 13 basin organizations, which behave differently in terms of water availability, as well as the production of agricultural food generated. The objective of this study is to know the degree of dependence on water security (millions of m³) and agricultural irrigation production (ton) from 2003 to 2017 in Mexico through a panel data model. The results showed that agricultural production is determined 87% by the availability of water. The percentage change in agricultural production with respect to water use is 42%; for every 100% increase in water use. Particularly, North Pacific and Lerma-Santiago-Pacific presented greater agricultural production and required greater volume of water for irrigation. Therefore, it is shown that the amount of agricultural production is closely linked to the amount of water resources available in each basin organization. The model revealed 88% reliability of the dependence between water security and agricultural irrigation production, there is no autocorrelation between the data, therefore, there is no bias. There is a close relationship between agricultural irrigation production and water security at the national level. With this type of study, it allows us to know the behavior of each basin organization to improve the use and use of water resources focused on sustainability, and with that, to counteract regional differences in the medium term.

Key words: basin organizations, water security, agricultural irrigation production, panel data, sustainability.

Contenido

| | |
|---|-----|
| Resumen: | i |
| Abstract:..... | i |
| Índice de tablas..... | iv |
| Índice de figuras | v |
| Glosario de siglas en el texto..... | vi |
| SIGNOS Y SÍMBOLOS..... | vii |
| Introducción | 1 |
| Capítulo 1 Marco conceptual | 6 |
| 1.1 Desarrollo sustentable..... | 6 |
| 1.2 Seguridad alimentaria | 13 |
| 1.2.1 Agricultura como un sistema complejo | 15 |
| 1.3 Seguridad hídrica | 20 |
| 1.4 Cambio climático | 22 |
| 1.4.1 Principales impactos de cambio climático a nivel mundial..... | 26 |
| 1.4.2 Principales impactos de cambio climático en México | 29 |
| 1.4.3 Cambio climático y seguridad alimentaria | 30 |
| 1.4.4 Cambio climático y seguridad hídrica | 34 |
| Capítulo 2 Seguridad alimentaria..... | 38 |
| 2.1 Concepto de seguridad alimentaria..... | 38 |
| 2.2 Sector agrícola en México..... | 40 |
| 2.3 Producción agrícola a nivel nacional | 51 |
| 2.4 Exportación e importación de productos agrícolas..... | 57 |
| 2.5 Situación en México por cambio climático..... | 59 |
| Capítulo 3 Seguridad hídrica | 62 |
| 3.1 Concepto de seguridad hídrica | 62 |
| 3.2 Sector hídrico en México..... | 67 |
| 3.3 Distribución del agua a nivel nacional | 71 |
| 3.4 Administración del agua en México..... | 75 |
| 3.5 Situación del recurso hídrico en México..... | 83 |
| Capítulo 4 Estimación de la dependencia de la producción agrícola con la seguridad hídrica | 86 |
| 4.1 Metodología | 86 |
| 4.2 Estimación de la dependencia de la producción agrícola con la seguridad hídrica en México (2003-2017) | 93 |

| | |
|---|-----|
| 4.3 Comparación del volumen y valor de la producción agrícola (2003-2017) de la RHA (III) Pacífico Norte y (VIII) Lerma-Santiago-Pacífico | 105 |
| Conclusiones y propuestas..... | 110 |
| Referencias..... | 117 |
| Bibliografía..... | 125 |
| Anexos..... | 128 |
| Anexo 1. Matriz de congruencia metodológica..... | 128 |
| Anexo 2. Base de datos de los organismos de cuenca de producción agrícola..... | 129 |
| Anexo 3. Base de datos de los organismos de cuenca de volumen de agua. | 130 |
| Anexo 4. Modelo econométrico..... | 131 |
| Anexo 5. Figuras de la producción con respecto al volumen de agua utilizado por organismo de cuenca. | 132 |

Índice de tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1-1 Impactos positivos y negativos del cambio climático en el sector agrícola..... | 34 |
| Tabla 2-1 Dimensiones de la seguridad alimentaria..... | 39 |
| Tabla 2-2 Porcentajes del total de la inversión federal dedicado a la irrigación (1930-1963)..... | 46 |
| Tabla 2-3 Producción de alimentos en México a nivel mundial..... | 55 |
| Tabla 2-4 Distribución de la superficie cosechada por grupo de cultivo (año agrícola 2015-2016)..... | 57 |
| Tabla 3-1 Regiones Hidrológicas Administrativas (RHA) en México | 72 |
| Tabla 3-2 Acuíferos de México, 2016 | 81 |
| Tabla 3-3 Grados de presión sobre el recurso hídrico en México | 82 |
| Tabla 4-1 Promedios obtenidos de la base de datos de la producción y el volumen de agua utilizado (2003-2017)..... | 95 |
| Tabla 4-2 Resultados de los datos | 98 |
| Tabla 4-3 Resultados del modelo econométrico (2003-2017)..... | 98 |
| Tabla 4-4 Volumen y valor de producción de todos los cultivos de riego en la RHA (III) Pacífico Norte (2003-2017)..... | 106 |
| Tabla 4-5 Los 10 principales productos cultivados y su valor de producción (2003-2017)..... | 106 |
| Tabla 4-6 Volumen y valor de producción de todos los cultivos de riego en la RHA (VIII) Lerma-Santiago-Pacífico (2003-2017) | 107 |
| Tabla 4-7 Los 10 principales productos cultivados y su valor de producción (2003-2017)..... | 108 |
| Tabla 4-8 Productividad con todos los productos en la RHA Pacífico Norte y Lerma-Santiago-Pacífico (2003-2017)..... | 109 |
| Tabla 4-9 Productividad con los 10 productos con mayor producción y su valor en la RHA Pacífico Norte y Lerma-Santiago-Pacífico (2003-2017) | 109 |

Índice de figuras

| | |
|--|-----|
| Figura 3-1 Principales retos de la seguridad hídrica y factores desencadenantes..... | 65 |
| Figura 3-2 Ciclo hidrológico | 66 |
| Figura 3-3 Precipitaciones anuales de México | 73 |
| Figura 3-4 Zonas más vulnerables a la sequía en México | 74 |
| Figura 3-5 Regiones Hidrológicas Administrativas en México | 77 |
| Figura 4-1 Modelo de la metodología aplicada | 88 |
| Figura 4-2 Producción agrícola del periodo 2003-2017 en México | 100 |
| Figura 4-3 Organismo de cuenca Península de Baja California | 101 |
| Figura 4-4 Organismo de cuenca Valle de México | 101 |
| Figura 4-5 Organismo de cuenca Lerma-Santiago-Pacífico | 102 |
| Figura 4-6 Organismo de cuenca Pacífico Norte..... | 102 |
| Figura 4-7 Total de la población mexicana (2002-2017) | 104 |

Glosario de siglas en el texto

| Institución | Siglas |
|--|----------|
| Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura | FAO |
| Comisión Económica para América Latina y el Caribe | CEPAL |
| Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos | OCDE |
| Instituto Nacional de Estadística y Geografía | INEGI |
| Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales | SEMARNAT |
| Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación | SAGARPA |
| Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano | SEDATU |
| Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología | SEDUE |
| Secretaría de Desarrollo Social | SEDESOL |
| Secretaría de Economía | SE |
| Organización de las Naciones Unidas | ONU |
| Comisión Nacional del Agua | CONAGUA |
| Asociación Mundial del Agua | GWP |
| Foro Económico Mundial | WEF |
| Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico | OCDE |
| Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático | CMNUCC |
| Cambio Climático de las Naciones Unidas | COP's |
| Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático | IPCC |
| Producto Interno Bruto | PIB |
| Banco Mundial | BM |
| Comisión Económica para América Latina y el Caribe | CEPAL |
| Secretaría de Desarrollo Social | SEDESOL |
| Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social | CONEVAL |
| Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura | FIRA |
| Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | SADER |
| Fondo Monetario Internacional | FMI |
| Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura | UNESCO |
| Consejo Nacional de Población | CONAPO |
| Proyecto Estratégico para la Seguridad Alimentaria | PESA |
| Programa de Cooperación Técnica | PCT |
| Comisión Agraria Mixta en cada entidad federativa | CAM |
| Sistema Alimentario Mexicano | SAM |
| Tratado de Libre Comercio de América del Norte | TLCAN |
| Programa Hidrológico Internacional | PHI |
| Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional de México | IIUNAM |
| Instituto Mexicano de Tecnología del Agua | IMTA |
| Ley Nacional de Aguas | LAN |
| Registro Público de Derechos de Agua | REPDA |
| Programa Nacional Hídrico | PNH |

SIGNOS Y SÍMBOLOS

| | |
|-----------------|--------------------------------------|
| RHA | Regiones Hidrológico-Administrativas |
| OC | Organismos de Cuenca |
| GEI | Gases de Efecto Invernadero |
| DR | Distritos de Riego |
| UR | Unidades de Riego |
| DTT | Distritos de Temporal Tecnificado |
| OI | Otoño-Invierno |
| PV | Primavera-Verano |
| MCO | Mínimos Cuadrados Ordinarios |
| Eviews | Econometric Views |
| Ton | Tonelada |
| hm ³ | Hectómetros cúbicos |
| mm | Milímetros |
| m ³ | Metros cúbicos |
| Km ² | Kilómetros cuadrados |
| Ha | Hectáreas |
| \$ | Pesos |
| % | Porcentaje |
| Hab | Habitantes |
| Prod | Producción |
| Vol | Volumen |

Introducción

El hombre siempre se ha alimentado de lo que ha podido; cuando comienza a vivir en pequeñas aldeas y se relaciona con seres semejantes a él, aprende a convivir y cultivar la tierra para abastecerse de alimento. La agricultura siempre ha sido una fuente de energía. La agricultura transforma energía fósil en alimentos (Martínez-Allier y Schlüpmann, 1991). Posteriormente, surge la tecnología, y explota la tierra de manera más eficiente. El ser humano siempre ha buscado la manera de aprovechar y abastecerse de los recursos naturales, primero, por sobrevivencia, y posteriormente, como fuente de intercambio y venta de otros productos a los que no es tan fácil su acceso local. De esta manera, se visualizan a los recursos naturales como servicios ambientales, hacer uso de ellos, evitando que se agoten, de una forma sustentable, conservando con ello, el medio ambiente. El desarrollo sustentable trata de evitar el uso irracional de los bienes y servicios que nos provee el medio ambiente, por lo que se requiere se haga conciencia para no padecer de la insuficiencia de estos servicios naturales en generaciones futuras.

Dentro de los tantos servicios ambientales, está el proveerse de productos agrícolas. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) establece que, existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos, esto para satisfacer sus necesidades alimentarias y sus preferencias en cuanto a los alimentos, a fin de llevar una vida activa y sana, este concepto se acepta cómo el derecho a una alimentación adecuada. Esta definición, es comúnmente la más aceptada, se señalan las siguientes dimensiones de la seguridad alimentaria, Cumbre Mundial sobre la Alimentación (1996):

- Disponibilidad de alimentos: la existencia de cantidades suficientes de alimentos de calidad adecuada, suministrados a través de la producción del país o de importaciones.

- Acceso a los alimentos: acceso de las personas a los recursos adecuados (recursos a los que se tiene derecho) para adquirir alimentos apropiados y una alimentación nutritiva.
- Utilización: utilización biológica de los alimentos a través de una alimentación adecuada, agua potable, sanidad y atención médica, para lograr un estado de bienestar nutricional en el que se satisfagan todas las necesidades fisiológicas.
- Estabilidad: para tener seguridad alimentaria, una población, un hogar o una persona deben tener acceso a alimentos adecuados en todo momento.

Existen instancias que desarrollan trabajos a nivel Latinoamérica, orientados al buen funcionamiento de la producción de los alimentos, como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), así mismo se tiene a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

En México existen instituciones como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA), la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), la Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL), la Secretaría de Economía (SE), que se encuentran aportando información referente al tema de la seguridad alimentaria en México; aportando proyectos con miras de obtener información convincente para la toma de decisiones en pro del buen desarrollo agrícola sustentable para la población.

Actualmente, no todos los países tienen una seguridad alimentaria, considerando a Malthus (1798) en su primer ensayo, asevera que, si la población crece más rápido que la producción de alimentos, por consecuencia, la humanidad estaría condenada a sufrir sobrepoblación y escasez. Además, de considerar nuestras necesidades básicas, así como es necesario la obtención de alimentos.

En cuanto al temática del agua a nivel mundial, Sadoff y Müller (2010) definen la seguridad hídrica como asegurar la provisión de una cantidad y calidad de agua aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios, y los medios de subsistencia, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua. Siguiendo esta lógica, se tiene que el recurso hídrico de cada lugar se distribuye para diversos usos.

A nivel mundial, la industria utiliza 22%, contra 8% del uso personal, y 70% de la agricultura, según datos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). El consumo del agua en México, al igual que en la mayor parte del mundo, se divide en uso personal, de industria, y de agricultura (Maguey, 2018). Específicamente, para el caso de México, el 76.3% del agua se utiliza en la agricultura, 14.6% para abastecimiento público, 4.8% para generación de energía por medio de plantas termoeléctricas y 4.3% para la industria (CONAGUA, 2016). Sendo el sector agrícola quien utiliza la mayor cantidad del recurso hídrico para producir alimentos de exportación e importación.

En México, según la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la agricultura utiliza entre 68 y 70% del recurso hídrico, la industria y las hidroeléctricas cerca de 14%, mientras que el uso doméstico es de alrededor de 10%. Además, la agricultura y la ganadería son los sectores que más agua utilizan y los que más la desperdician. Según la CONAGUA, 57% del total utilizados, se desperdicia principalmente por infraestructura de riego ineficiente que se encuentra en mal estado, es obsoleta o tiene fugas. La superficie irrigada es de 6.3 millones de hectárea (Maguey, 2018). Por consiguiente, existe una estrecha relación entre la producción agrícola con la seguridad hídrica; por tal motivo, es importante contar con suficiente recurso hídrico para obtener producción de alimentos suficiente para no padecer del acceso de diversos alimentos.

Además, es relevante la cuestión del cambio climático, el cual afecta primordialmente el ciclo hidrológico; por ende, a la seguridad hídrica y alimentaria, entendiendo que debe existir un balance entre la conservación y el uso del agua, una adecuada calidad y cantidad de la misma, suficiente recurso hídrico para la producción de alimentos tanto de riego como temporal, entre otros (Macip-Ríos y Espinosa-Santiago, 2014).

La metodología empleada en esta investigación para conocer si existe relación entre la producción agrícola con la seguridad hídrica es el modelo de datos panel, con base a la producción agrícola con la cantidad de agua utilizada para generar dicha producción, es un modelo confiable siendo analizadas series de tiempo y detectar dependencia entre las variables.

Justificación y relevancia científica: En el presente estudio, se dará a conocer la importancia de la producción agrícola con una seguridad hídrica en México; así como, entender la importancia de ambas variables en México. El análisis de las variables se tiene evaluado para el periodo de 15 años comprendidos del año 2003 al 2017.

Además, comprender el grado de dependencia de la seguridad hídrica (cantidad de agua) y la producción agrícola (todos los alimentos de riego) en México, en un mediano plazo. En nuestro país existen 31 cuencas hidrológicas que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ha agrupado en 37 Regiones Hidrológicas (RH) y 13 Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA). Así mismo, se analiza la condición de producción agrícola de riego con base al cambio porcentual del recurso hídrico en el país constituido por las 13 (RHA). También se expone un caso específico de la utilidad de los datos encontrados.

Una vez obtenida y analizada la información recabada, se conoció la existencia de la dependencia entre la producción agrícola con respecto a la seguridad hídrica en México, entendiendo el cambio porcentual en el volumen de agua con las toneladas obtenidas de la producción agrícola de riego en México; de esta manera, el estudio aporta información relevante para estimar el volumen de agua necesario para generar producción agrícola de riego, tomando en cuenta la necesidad de desarrollar un sistema productivo eficiente y sustentable en el uso del agua, siendo que el sector agrícola es el que requiere alrededor del 80% del agua dulce para producir alimentos (CONAGUA, 2018). La utilidad del estudio aporta a conocer al sector agrícola mexicano en su relación con el recurso hídrico en el mediano plazo, a fin de entender la necesidad de asegurar la producción agrícola. Los planteamientos que fundamentaron el desarrollo de la investigación son:

- Pregunta de investigación: ¿Cuál es el grado de dependencia de la producción agrícola de riego con respecto a la seguridad hídrica en México de 2003 a 2017?
- Objetivo general: Determinar el grado de dependencia de la producción agrícola con respecto a la seguridad hídrica en México en el periodo de 2003 a 2017.
- Hipótesis: Existe una dependencia de la producción agrícola con respecto a la seguridad hídrica en México en el periodo de 2003 a 2017.

La investigación se desarrolla en cuatro capítulos y un apartado de conclusiones y propuestas. En el primer capítulo se abordará una breve evolución del concepto de desarrollo sustentable, la complejidad del concepto, partiendo de una revisión bibliográfica. Para el segundo capítulo se analiza el concepto y dimensiones de lo que implica la seguridad alimentaria desde una perspectiva global a un nivel local, de igual manera, se observa cómo surge el concepto de seguridad hídrica y sus modificaciones. Una vez teniendo claro los conceptos y dimensiones se procedió a diseñar la metodología para la presente investigación. En el caso de los resultados obtenidos se encontraron datos importantes y relevantes para mejorar el uso del agua para producción agrícola de riego en México de 2003 a 2017, con datos de panel, al considerar series de tiempo en el estudio. La producción agrícola obtenida con agua de riego es muy diversa en el país. Por lo cual, se dan conclusiones y recomendaciones para mejorar la seguridad alimentaria y con ello la seguridad hídrica.

Capítulo 1 Marco conceptual

En el presente capítulo se realiza una revisión teórica del concepto de desarrollo sustentable a través del tiempo, considerando el enfoque ambiental, económico y social; así como la complejidad e importancia de este concepto. Adicionalmente, se tiene un apartado del concepto de seguridad alimentaria, con un enfoque global, partiendo desde la definición de la FAO y sus dimensiones. Posteriormente, se aborda a la agricultura como un sistema fundamental para la alimentación de todo ser humano que habita la tierra; además, como se considera un recurso básico en América Latina y específicamente en México. También, se aborda el concepto de seguridad hídrica, lo que implica entender de qué manera se tiene el acceso al recurso hídrico así mismo, se considera el tema de cambio climático, desde su concepto hasta sus consecuencias a nivel mundial y nacional por las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI), así como el aumento de temperatura. Finalmente, los principales impactos negativos y positivos del cambio climático a nivel global y en México, y la repercusión en la seguridad alimentaria como en la seguridad hídrica.

1.1 Desarrollo sustentable

El concepto de desarrollo sustentable ha evolucionado de acuerdo a su complejidad (enfoque ambiental, económico, social, político, entre otros). En los años 70's y 80's, derivado del *Informe Brundtland* adquiere fuerza este concepto. Surgen varias definiciones de desarrollo sustentable, se rescata de ellas el enfoque a busca y mejorar la calidad de la vida humana sin rebasar la capacidad de carga de los ecosistemas que la sustentan (Riechmann, 1995).

Primeramente, se tiene a Sachs (1980) que define el ecodesarrollo como un desarrollo deseable desde un punto de vista social, viable desde el punto de vista económico y prudente desde el ecológico. Posteriormente, en el informe Brundtland (1987) en la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y Desarrollo, se analizan los problemas más críticos en torno al desarrollo y el medio ambiente, además se indican propuestas de solución. A partir de allí, se difunde el término de desarrollo sustentable,

como aquel desarrollo que responde a las necesidades humanas del presente de forma igualitaria, pero sin comprometer las posibilidades de sobrevivencia y prosperidad de las generaciones futuras y debe de estar constituido por tres facetas: económicas, ecológicas y sociales.

De esta manera, el desarrollo supone transformar la sociedad de un estado tradicional caracterizado por el estancamiento y la subsistencia, a una sociedad dinámica capitalista centrada en el sector emprendedor, es decir, se considera desde un punto de vista enfocado al cambio y crecimiento; definiendo así que el desarrollo sustentable es un campo de conocimiento de frontera que integra el desarrollo económico y la equidad, el ambiente y la biodiversidad, la cultura y sociedad. El desarrollo sustentable ha representado un cambio cualitativo que articula el crecimiento económico, equidad social y conservación ecológica. Frente a ello, este desarrollo propone tres ejes analíticos: 1) un desarrollo que tome en cuenta la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes; 2) un desarrollo respetuoso del medio ambiente; y 3) un desarrollo que no sacrifique los derechos de las generaciones futuras (Gutiérrez, 2008).

Para que esto sea posible se requiere crear nuevas instituciones y regulaciones que garanticen los derechos colectivos y que coloquen al medio ambiente de manera transversal en la regulación de la sociedad. El desarrollo sustentable es un trabajo colectivo y recurrir a múltiples herramientas para poner en práctica el complejo concepto como tal; de una manera idónea que se pueden conservar nuestro ambiente.

Capra (1996) define que: “una sociedad sostenible es aquella capaz de satisfacer sus necesidades sin disminuir las oportunidades de generaciones futuras”. Además, considerar que un sistema está formado por organismos vivos y sistemas sociales, y estos se encuentran interrelaciones e interconectados entre sí.

Sucesivamente, se utiliza el término de desarrollo sostenible como: “servicios ambientales”; a pesar de que se utiliza más “bienes y servicios” o “servicios ecosistémicos”, partiendo de que los servicios de los ecosistemas a las condiciones y procesos a partir de los cuales los ecosistemas y las especies mantienen y satisfacen la vida humana. En la década de los años noventa, surge el término “servicios de

ecosistemas” (Daily, 1997), se entiende como servicios de los ecosistemas a las condiciones y procesos a partir de los cuales los ecosistemas y las especies mantienen y satisfacen la vida humana.

De una manera acelerada, el concepto evoluciona, por lo cual adquiere un enfoque hacia el crecimiento desde una perspectiva global. Al tratar la cuestión económica, se considera el concepto de producción. Desde el punto de vista económico, interpreta a la sostenibilidad, el medio ambiente se ve desde una perspectiva de capital natural, un capital que es utilizado por el hombre; y empiezan así la destrucción de los ecosistemas. De esta manera, el problema principal de los problemas ambientales fue la expansión del capitalismo y dominación del mismo y el problema secundario es la explotación de los recursos naturales renovables y no renovables (Naredo, 1996).

Dentro de estos problemas del desarrollo, Provencio y Carabias (1992) se proponen modificar los patrones de consumo sobre todo en países desarrollados para poder mantener y aumentar los recursos base, en particular los agrícolas, energéticos, bióticos, minerales, aire y agua. Como factores críticos de la estrategia para el desarrollo sustentable se tiene la reorientación tecnológica, sobre todo para atenuar el impacto sobre recursos y controlar los riesgos ambientales; la necesidad de un contexto social, democrático y participativo; la intervención de las minorías y grupos étnicos, y el rediseño de políticas, instituciones, leyes y normas para realizar el desarrollo.

En los países latinoamericanos se adopta el término de “desarrollo sostenible”, el cual, cambia a “servicios de los ecosistemas”, incluyendo diferentes aspectos que se incluirán en el marco de las ciencias socio-ecológicas (ecología, economía ecológica, etnoecología, ética ambiental o la gestión ambiental), involucrando las ciencias biogeofísicas, sociales y tecnológicas, así como la investigación y la gestión (Montes, 2007). En Río de Janeiro, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, conocida por la Cumbre de la Tierra, se elaboran estrategias y medidas con el fin de detener y revertir la degradación ambiental (Foladori y Tommasino, 2000). Como bien lo comentan Ramírez-Treviño, Sánchez-Nuñez, y García Camacho (2003), la intención básica del desarrollo sustentable es crear un proceso que permita:

- Un sistema político democrático que asegure a sus ciudadanos una participación efectiva en la toma de decisiones;
- Un sistema económico capaz de crear excedentes y conocimiento técnico sobre una base autónoma y constante;
- Un sistema de producción que cumpla con el imperativo de preservar el medio ambiente;
- Un sistema tecnológico capaz de investigar constantemente nuevas soluciones;
- Un sistema internacional que promueva modelos duraderos de comercio y fianzas; y,
- Un sistema administrativo flexible y capaz de corregirse de manera autónoma.

Para Leff (2007), percibe al desarrollo de manera progresiva, incluyendo las fuerzas productivas y destructivas cumpliendo un objetivo de maximizar las ganancias en las economías capitalistas y los excedentes en las economías socialistas, las cuales han generado junto con el incremento de la producción y el consumo, una destrucción sin precedentes de la base de recursos de la humanidad, así como desequilibrios ecológicos de escala planetaria y procesos de degradación ambiental que amenazan el desarrollo sustentable, equitativo y sostenible en la comunidad de naciones. Además, Leff considera que toda la producción de valores de uso implica un proceso social de transformación de la materia, existen las fases de conformación de los recursos naturales:

- La diferenciación de la materia y energía en el planeta y la distribución geográfica de recursos renovables y no renovables.
- El proceso de generación, diferenciación y reproducción de recursos bióticos.
- La transformación técnico-cultural de la materia y energía acumuladas como recursos naturales.
- La transformación tecnológica del medio natural para la elaboración de medios de producción y de los recursos naturales en bienes de consumo.

Desde este punto de vista, el concepto se concibe y es visualizado como igualitario, descentralizado y autogestionario; capaz de satisfacer las necesidades básicas de la población, respetando la diversidad cultural y mejorando la calidad de vida.

El desarrollo sustentable es una meta de mediano y largo plazo que supone la adopción gradual pero intencionada de nuevos paradigmas de crecimiento y desarrollo, tanto económicos como sociales, de las sociedades nacionales y del conjunto de éstas (Gil Corrales, 2007). El término de desarrollo sostenible ha evolucionado a través del tiempo porque se hace cada vez más complejo, se necesitan la colaboración de más ciencias para comprender como utiliza a la naturaleza como un servicio ambiental.

Posteriormente, en el informe del Club de Roma, surge el ecodesarrollo enfocado al aumento de la producción en los países de tercer mundo; es una fusión de medio ambiente y desarrollo. Pasado el tiempo, este concepto fue sustituido por desarrollo sostenible, es decir, un desarrollo sin crecimiento (Naredo, 1996). Como se aprecia, el autor nos da un enfoque más ambientalista. Conforme pasa el tiempo, este concepto se hace más enfocado al crecimiento económico desde una perspectiva global. Al hablar de cuestión económica, se considera el concepto de producción.

Desde la perspectiva capitalista, el ecodesarrollo concibe que el medio ambiente se ve desde un enfoque de capital natural, un capital que es utilizado por el hombre; y con ello, comienza la destrucción de los ecosistemas. A partir del aprovechamiento de los recursos a nivel de producción se debe de invertir en las mejoras ambientales. Posteriormente, el problema principal de los problemas ambientales fue la expansión del capitalismo y dominación del mismo y el problema secundario es la explotación de los recursos naturales renovables y no renovables.

Para Bifani (1994) el concepto de desarrollo sostenible explicita lo íntimo, lo inevitable y la mutua interdependencia entre sistema natural y desarrollo. El desarrollo sostenible se refiere a un constante proceso de cambio, donde la explotación de los recursos naturales, la dirección de la inversión y el progreso científico tecnológico, junto al cambio institucional, permite compatibilizar la satisfacción de necesidades sociales presentes y futuras.

Desde el punto de vista ambiental, se explican las causas históricas de la degradación ambiental, para diagnosticar la especificidad de los sistemas socioambientales complejos y construir una racionalidad productiva fundada en el manejo integrado de los recursos (Constanza, Cumberland, Goodland y Norgaard, 1999). Se considera el uso racional y conservador de los recursos naturales, incluidas desde las actividades agrícolas primitivas hasta los procesos industriales que existen hasta la actualidad. Así mismo, Martínez-Castillo (2009) analiza el desarrollo sostenible como la necesidad de minimizar la degradación de la tierra agrícola, maximizando la producción. Lo que significa considerar el conjunto de las actividades agrícolas, tales como el manejo de suelos y de aguas, el manejo de cultivos y la conservación de la biodiversidad, en su mutua interrelación.

Es necesario recurrir a las innovaciones tecnológicas y científicas para hacerle frente a una gama diversa de problemas ambientales globales. Como bien lo visualizan Foladori y Pierre (2005), el uso de la tecnología debe de ser para bien, es el uso de herramientas para emplear un conocimiento aplicado y obtener una producción. Aunado a ello, se considera pertinente no confundir el término antropogénico (hecho por el hombre) y antropocentrista (el ser humano impone su dominio, confiando en el desarrollo tecnológico).

La tecnología ha desempeñado una importante función instrumental dentro de la racionalidad económica, estableciendo la relación de eficacia entre conocimiento y producción. Además, no podemos dejar de fuera las políticas ambientales, ya que estas se encargan de evaluar las condiciones ideológicas, políticas, institucionales y tecnológicas que determinan la conservación y regeneración de los recursos de una región. Además, la interdisciplinariedad intracientífica; es el deseo de saber, generando una tendencia interminable hacia el desarrollo de las ciencias, el equilibrio ecológico y la justicia social (Constanza *et al.*, 1999). Cabe señalar, que no ha sido suficiente recurrir a diversas disciplinas para tender a la sustentabilidad, se ha descartado algo primordial, como la planificación y el uso de la transdisciplina.

Siguiendo esta perspectiva, Cantú-Martínez (2012), concibe al desarrollo sustentable como aquel que hoy exige un proceso armónico que demanda a los diferentes representantes de la sociedad, responsabilidades y obligaciones en la práctica de los esquemas económico, político, ambiental y social, así como, en las pautas de utilización de los recursos o bienes naturales que establecen una calidad de vida adecuada. El desarrollo sustentable se percibe como una meta de mediano y largo plazo que supone la adopción gradual pero intencionada de nuevos paradigmas de crecimiento y desarrollo, tanto económico como social, de las sociedades nacionales y del conjunto de éstas (Gil Corrales, 2007).

Como se observa, el concepto no deja de ser desarrollo, Ramírez-Treviño, Sánchez-Núñez, y García Camacho (2003), la sustentabilidad debe tener una serie de atributos y características que le permitan su capacidad de permanecer y reproducirse a niveles cada vez más amplios. Este desarrollo constituye un concepto multidimensional que involucra, como mínimo, dimensiones económicas, sociales y ambientales. Para lograr esto, Gil Corrales (2007) hace hincapié en las políticas públicas, las cuales se perciben como un conjunto de concepciones, criterios, principios, estrategias y líneas fundamentales de acción a partir de las cuales la comunidad, organizada como Estado, decide hacer frente a desafíos y problemas que se consideran de naturaleza pública. Posteriormente, con el desarrollo de una legislación ambiental mexicana se tienen normas, reglamentos, leyes, etc., enfocados a dar estrategias, regulaciones, verificación, seguimiento, monitoreo, así como soluciones, encaminadas a la protección y/o conservación de los diversos impactos al medio ambiente.

Con base a la revisión anterior, se hace alusión que el término de desarrollo sustentable ha evolucionado a través del tiempo porque se hace cada vez más complejo, se necesitan la colaboración de más ciencias para comprender como utilizar la naturaleza como un servicio ambiental. Si los recursos naturales nos brindan de servicios ambientales para satisfacer nuestras necesidades, es evidente que si se abusa o se hace mal uso de los recursos se tendrá un costo por ello.

1.2 Seguridad alimentaria

El concepto de seguridad alimentaria se creó a mediados de los años 70, en la Cumbre Mundial sobre la Alimentación por la Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), definió la seguridad alimentaria desde el punto de vista del suministro de alimentos: asegurar la disponibilidad y la estabilidad nacional e internacional de los precios de los alimentos básicos.

En FAO (1983), se concentró en el acceso a los alimentos, dando un enfoque diferente, haciendo hincapié hacia una definición basada en el equilibrio entre la demanda y el suministro de la seguridad alimentaria: "...asegurar que todas las personas tengan en todo momento acceso físico y económico a los alimentos básicos que necesitan" (p.3).

Conforme transcurre el tiempo, la definición cambia, la cual nos dice que existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimentarias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana (FAO, 1996, p. 1).

Esta definición evoluciona, siendo cada vez más compleja e integral como "Cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias a fin de llevar una vida sana y activa" (FAO, 2002). La definición aceptada por la FAO tiene un enfoque multidimensional de la seguridad alimentaria e incluye el acceso a los alimentos y la estabilidad del suministro (FAO, 2006). Además, se buscaba el acceso a los alimentos, lo que condujo a una definición basada en el equilibrio entre la demanda y el suministro de la ecuación de la seguridad alimentaria.

La seguridad alimentaria está constituida por cuatro pilares principales: Disponibilidad, Acceso, Utilización y Estabilidad. Donde la disponibilidad y la estabilidad están íntimamente vinculados a la producción agrícola y al comercio, que son los dos instrumentos a través de los cuales se logra una oferta (disponibilidad) de alimentos a precios razonables y con estabilidad en el tiempo. En cuanto al acceso y utilización depende por elementos no directamente vinculados a la agricultura y al comercio

internacional, tales como el nivel de ingresos de los consumidores y la forma en que los alimentos son procesados y utilizados. Bajo el contexto anterior, la seguridad alimentaria consta de cuatro dimensiones (FAO, 2006, p. 4):

- Primera. - Que exista disponibilidad de alimentos en cantidades suficientes de calidad adecuada, suministrados a través de la producción del país o de importaciones, estando comprendida la ayuda alimentaria.
- Segunda. - Que se tenga el acceso a los alimentos, por parte de las personas, y que estos individuos tengan los recursos adecuados y el derecho para adquirir los alimentos apropiados para una alimentación nutritiva. Este derecho se define como el conjunto de todos los grupos de productos sobre los cuales una persona puede tener dominio en virtud de acuerdos jurídicos, económicos y sociales de la comunidad en que vive, comprendidos los derechos tradicionales y los recursos colectivos.
- Tercera. - La utilización biológica de los alimentos a través de una alimentación adecuada, agua potable, sanidad y atención médica, para lograr un estado de bienestar nutricional en el que se satisfagan todas las necesidades fisiológicas. Este concepto pone de relieve la importancia de los insumos no alimentarios en la seguridad alimentaria.
- Cuarta. - La estabilidad para tener seguridad alimentaria, por la población, el hogar y la persona deben tener acceso a alimentos adecuados en todo momento, ya que todos sin correr el riesgo de quedarse sin acceso a los alimentos a consecuencia de crisis repentinas, de cualquier índole entre otras las económicas y climáticas, ni de acontecimientos cíclicos como es el caso de la inseguridad alimentaria estacional. De esta manera, el concepto de estabilidad se refiere tanto a la dimensión de la disponibilidad como a la del acceso de la seguridad alimentaria.

Sin embargo, se identifica el mismo concepto con tres fases. En la primera, la cuestión de la oferta, la cual implica la disponibilidad de alimentos; la segunda, considera la demanda de los alimentos; y la tercera se concibe dentro del marco de la elección temporal del consumidor en un ambiente caracterizado por la incertidumbre, la

existencia de irreversibilidades y la complementariedad entre el consumo de alimentos y otras variables, en particular la educación y la atención de la salud (Barrett, 2002).

Para Torres (2014) la seguridad alimentaria consiste en la disponibilidad, el acceso, la estabilidad y la inocuidad de productos para el consumo, la persistencia en la aplicación de políticas de libre mercado. En esto, Piñeiro (2012), la aborda como un concepto que tiene una estrecha relación con la agricultura y el comercio, a través de la disponibilidad de alimentos (oferta) y, en cierta medida la estabilidad, a un precio razonable. Esto se logra a través de la producción nacional (agricultura) y por las importaciones (comercio internacional). Además, se analiza desde otra perspectiva en donde la seguridad alimentaria es la garantía para la población de disponer del alimento en cantidad suficiente, con fácil acceso y de manera estable para satisfacer sus necesidades básicas (Cambreros, 2000). En contraste, para Cuéllar (2011) concibe este concepto como una alimentación suficiente y nutritiva es condición indispensable para una vida sana, así como para alcanzar el desarrollo pleno de las personas y los países.

1.2.1 Agricultura como un sistema complejo

La agricultura es una de las bases importantes dentro de la alimentación de cualquier país. Desde que el hombre evolucionó de nómada a sedentario siempre procuro abastecerse de sus alimentos para sobrevivir. Dentro de esos alimentos, se tienen a los granos y uno de los más importantes en el paradigma mexicano sin duda alguna es el maíz, tanto para consumo propio como de exportación.

Debido a que la agricultura abastece gran porcentaje a la población humana se debe de analizar desde una perspectiva amplia siendo de vital importancia para entender lo que propuso Malthus “el principio de que las poblaciones humanas crecen exponencialmente, mientras que la producción de alimentos crece a una razón aritmética” (Malthus, 1951). Analizando lo anterior, para asegurar que toda población humana tenga el alimento que requiere para vivir se debe de considerar que la tierra es un recurso natural dentro de un ecosistema que pertenece a un sistema para su regulación, producción, reproducción, conservación, entre otros.

Johansen (2004), define a un sistema como un conjunto de partes coordinadas y en interacción para alcanzar un conjunto de objetivos. A medida que integramos sistemas, se pasa de una complejidad menor a una mayor, y viceversa. Por lo tanto, un sistema es como un conjunto de partes interrelacionadas. Los sistemas tienden a mantenerse en equilibrio y actúa sobre ellos dos fuerzas: una que trata de impedir los cambios bruscos y otra que impulsa al sistema a cambiar, pero en forma lenta y evolutiva.

Cabe destacar que Leff (2007), percibe el desarrollo y crecimiento sustentable de la civilización humana como la base de la tierra, como un sistema de producción complejo donde emergen tres condiciones esenciales: 1) las condiciones ambientales, 2) infraestructurales y 3) estructurales. Por su parte, Toledo (1992) distingue que el principio de equilibrio productivo se comporta de forma compleja, es decir, mantener una estrategia donde el valor de cambio (la producción volcada al mercado) se halla bajo el dominio del valor de uso (la producción dirigida a garantizar la autosuficiencia alimentaria, energética, tecnológica, entre otros). Cabe señalar, que este principio es complejo, por lo tanto, se debe de abordar de manera multidisciplinaria.

Por tal motivo, es pertinente recurrir a la transdisciplina, recorriendo todas sus etapas como son la disciplinariedad para su estudio, está se relaciona con una monodisciplina que representa una especialización en aislamiento; la multidisciplinariedad, diversidad de disciplinas; la pluridisciplinariedad implica cooperación entre disciplinas, pero sin coordinación; la interdisciplinariedad es una coordinación de un nivel alto de los conceptos. Finalmente, llegando a la transdisciplinariedad, que es el resultado de la coordinación de todos los niveles jerárquicos anteriores mencionados, por medio de la transdisciplinariedad se pueden transformar las visiones para encontrar soluciones a problemas reales (Max-Neef, 2005). Por su parte García (2011), comenta que un sistema complejo es la interdefinibilidad, es decir, se aborda desde una interdisciplina, y esta es la integración de diferentes enfoques disciplinarios. Es decir, que en el caso de la interdefinibilidad se necesitan la aportación de diversas disciplinas para resolver un problema, en este caso, la agricultura. Al ver los problemas que hoy en día enfrenta el mundo, es el caso del cultivo y cosecha de los granos como alimento base del mundo.

En O'Connor (2001) se expone que el hombre entra en una relación con la naturaleza a fin de obtener los medios para sostener la vida, y entra en relaciones con otros hombres en el proceso de derivar su sustento de la naturaleza. Las relaciones técnicas que incluyen tecnología, maquinaria y herramientas, así como habilidades de los trabajadores, como “fuerzas productivas”. Estas denotan los poderes materiales o el potencial productivo de la sociedad. La historia ambiental es el estudio de cómo la intervención humana configura y modifica a la “naturaleza”, consisten en tres conjuntos: 1) entender la naturaleza misma, organizada y funcionando en tiempos pasados, 2) tiene que ver con el dominio socioeconómico en tanto interactúa con el ambiente, 3) el puramente mental o intelectual, éticas, leyes, mitos, se convierten en un diálogo de un individuo o un grupo con la naturaleza. Se hace hincapié que el diálogo, se debe de incorporar el concepto de cooperación para integrar la cultura, el trabajo social y la naturaleza.

Por lo visto, no se tiene una conciencia de todos ser dueños de los recursos, así como tener en mente su conservación y preservación para seguir haciendo uso de ellos para las diversas necesidades de utilizar el medio ambiente, como bien lo comenta Alimonda (2011), donde el diálogo es fundamental para proponer reglas y acuerdos. Desde esta perspectiva, un papel importante que funge en la problemática ambiental son las instituciones autogestionarias tendrán éxito en el largo plazo, depende si el diseño de dichas instituciones es consistente con los principios de diseño propios de los sistemas autogestionarios robustos y de larga duración. Se necesita mayor investigación de campo para refinar nuestra comprensión sobre el funcionamiento de las instituciones locales en el contexto de diversos tipos de macro estructuras. Además, se recomienda que todos los actores se unan para estar conscientes de un esfuerzo y beneficio colectivo para conservar un bien común para nuestro abasto, conservación, evitando su daño y destrucción (Ostrom, 2000).

Los cambios en la producción agrícola no han sido sustentables con la agricultura, al acelerar los procesos de cultivos y conservar el suelo, no dejarlo que se degrade y cambio el uso de uso, mejorándolo y conservándolo con la alternancia de diferentes granos, y dejar que la naturaleza como tal haga su trabajo y concluya sus ciclos, en vez

de modificarlos y alterándolos. Algunas prácticas fundadas en la diversidad de cultivos fueron cambiadas por prácticas de monocultivo con la consecuente erosión y disminución de la capacidad productiva de la tierra (Tommasino, 2001).

Se tiene que para el caso de Latinoamérica, en especial para México que fue una nación colonizada por españoles, imponiendo nuevas creencias, usos y costumbres adoptadas más por ser impuestas y no ser una opción, contrayendo una serie de cambios a ser adoptados y adaptados los antepasados sin tener derecho a la libertad y no poder defender nuestros recursos, observando el saqueo de los minerales (metales preciosos y costosos) exportados a Europa, extinguiendo nuestros bosques para extraer madera preciosa para muebles de familias de alto nivel social en la época de la colonia (De Grammont, 2004).

El proceso de industrialización que han seguido los países de América Latina los ha llevado a incorporar técnicas cada vez más intensivas de capital, lo que ha desplazado a las prácticas productivas tradicionales (campesinos). El crecimiento del capitalismo es un proceso de desarrollo desigual y combinado de estructuras y procesos políticos, sociales y ambientales (O'Connor, 2001). Por su parte, las prácticas productivas de las culturas pre capitalistas construyeron patrones tecnológicos más adecuados en cuanto al aprovechamiento del potencial productivo de los ecosistemas (Leff, 2007). En el caso, de los países subdesarrollados sufren una situación crítica para tener acceso a los alimentos, a diferencia de los países desarrollados que tienen más fácil el acceso de los alimentos.

La teoría de la dependencia ha aportado una explicación de las causas del subdesarrollo. La divergencia tecnológica, de nivel de salarios y de productividad entre países, la sobreexplotación de los recursos y fuerza de trabajo. El gran conocimiento sobre sus recursos y el desarrollo de técnicas agrícolas apropiadas para su territorio les permitió alcanzar un importante desarrollo (Garza, 2007).

Para el caso específico de la agricultura, Rubio (2008) dice que los países que persisten en impulsar políticas neoliberales, pueden abrir de par en par el mercado agroalimentario, la entrada de mercancías encarecidas, apostar al mercado mundial en

lugar de impulsar la producción nacional, a la vez que fortalecer solamente a los sectores internos productivos más pudientes, dejando de lado a los pequeños productores; estos países, decimos, se insertan al concierto mundial por una vía que agudiza su vulnerabilidad alimentaria, lo que les resta capacidad de competencia internacional y de desarrollo nacional. Por lo que Calva (1999) aprecia la agricultura desde una visión de desarrollo económico desempeña funciones fundamentales como, 1) producir los alimentos demandados por una población no agrícola creciente, 2) suministrar a la industria una provisión suficiente de materias primas agropecuarias, 3) generar excedentes agrícolas exportables en mayor cantidad que las importables, 4) proporcionar un mercado interno para los productos de la industria. Llevando con todo ello, una agricultura desmedida de productos y sobreexplotación de las tierras.

En un país subdesarrollado como México, se produce alimento para cubrir las necesidades solicitadas por los países desarrollados, descuidando cubrir las necesidades de alimento en nuestro país. La crisis alimentaria se manifiesta en hambruna y carestía causada por el creciente uso no directamente alimentario de algunas cosechas (empleo en forrajes y biocombustibles), por el estancamiento de la productividad de cereales que por casi cinco décadas dinamizó la llamada Revolución Verde y por la especulación resultante del oligopolio transnacional que domina en la rama (Barta, 2009).

Es importante señalar que se deben de considerar los problemas vigentes del calentamiento global y el cambio climático, impactando en todo el planeta. Es válido determinar los impactos del cambio climático en la producción de cultivos, con el fin de desarrollar estrategias de adaptación (Cardozo, 2014). Siendo una de las mayores preocupaciones es cómo se verán afectados los pequeños agricultores. La mayoría de los países ya vienen sufriendo por el rigor de eventos climáticos extremos como sequías, inundaciones, huracanes, etc. Los países necesitan conocimientos sólidos sobre la vulnerabilidad de sus sistemas alimentarios, ecosistemas, sociedades y economías nacionales al cambio climático y al calentamiento global. La FAO ha desarrollado una amplia gama de sistemas de datos innovadores y fáciles de usar, además de herramientas para evaluar la repercusión del clima y las vulnerabilidades y planificar las prácticas de adaptación, como, por ejemplo: una metodología de optimización de la

adaptación dinámica de las explotaciones agrícolas (FAO, 2014), las cuales se pretende sean de gran utilidad para padecer en menor proporción los efectos directos e indirectos del cambio climático, afectando a la agricultura.

1.3 Seguridad hídrica

Según la Asociación Mundial del Agua (GWP, por sus siglas en inglés), percibe a este concepto cuyo significado expone que, a cualquier nivel desde el hogar hasta lo global, cada persona tiene acceso a suficiente agua saludable a un costo asequible, para la higiene, así como una vida saludable y productiva, asegurando simultáneamente que el ambiente no se altere (GWP, 2000). Por su parte, la Declaración Ministerial del Foro Económico Mundial definió la seguridad hídrica indicando que ella consiste en asegurar que el agua dulce, las zonas costeras y los ecosistemas relacionados se encuentren protegidos y mejorados, que se promueva el desarrollo sostenible y la estabilidad política, que cada persona tenga acceso a suficiente agua potable y a un costo asequible para permitir una vida saludable y productiva, y que la población vulnerable esté protegida de los riesgos asociados al agua. El Foro Económico Mundial (WEF, 2009) consideró la seguridad hídrica como la red que conecta todos los grandes desafíos (alimentación, energía, cambio climático y desarrollo económico, entre otros) que debe enfrentar la humanidad en las próximas décadas. De esta manera, se tiene que la seguridad hídrica juega un papel importante en todos sus diversos usos cotidianos.

Para Grey y Sadoff (2007) conciben a la seguridad hídrica como la disponibilidad de agua en aceptable cantidad y calidad para la salud, las actividades humanas, los ecosistemas y la producción, junto con un nivel aceptable de riesgos hídricos para las personas, el ambiente y la economía. Además, Animesh, Giupponi, y Wada (2016) hacen hincapié en la importancia de alcanzar la seguridad hídrica, la cual es vital para el bienestar de la gente, agricultura, energía entre otros sectores. También, Sadoff y Müller (2010), la definen como la provisión confiable de una cantidad y calidad de agua aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios, y los medios de subsistencia, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua. Desde otra perspectiva, Norman, Bakker, Cook, Dunn, y Allen (2010) visualizan a la seguridad hídrica como el

acceso durable al agua a la escala de una cuenca en cantidad suficiente y calidad aceptable para asegurar la protección de la salud humana y de los ecosistemas. Por tanto, contar con una seguridad hídrica implica contar con el vital líquido tanto en buena calidad como con suficiente cantidad para todos los diversos usos requeridos.

Otra definición de seguridad hídrica de Mason y Calow (2012), considerando el suministro de agua y el saneamiento más allá de las simples medidas de cobertura hacia la sostenibilidad, la asequibilidad y la calidad. Para asegurar indicadores a nivel económico como la productividad agrícola del agua, la elaboración de medidas apropiadas para el acceso y la disponibilidad a escala de economía doméstica, donde el agua se utiliza para apoyar el ganado y el riego. Para Calow y Tucker (2013) la seguridad hídrica la expresan como la disponibilidad de una adecuada cantidad y calidad del agua para la salud, los medios de vida, los ecosistemas y la producción, y la capacidad de acceder a ella, junto con un nivel aceptable de riesgos para las personas y el ambiente, relacionados con el agua, y la capacidad para gestionar los mismos.

Para conseguir una seguridad alimentaria se tiene como principales retos resolver la escasez de agua, la contaminación de los cuerpos de agua, los conflictos por el agua y el deterioro ambiental. Detectando como las principales fuerzas impulsoras de estos retos el crecimiento demográfico y la urbanización, la creciente demanda de alimentos ocasionada tanto por el crecimiento de la población como por cambios en la dieta, la demanda de agua para la producción de energía, los efectos del cambio climático y la deficiente gestión del agua (Martínez-Austria, 2013).

Para González-Villarreal y Domínguez-Mares (2017) reconocen este concepto como un objetivo estratégico al valorar que el agua es clave para la salud humana y de los ecosistemas, imprescindible para la producción de bienes y servicios, así como un elemento de riesgo por sus ciclos de abundancia y sequía. Por su parte, para las agencias del sistema de las Naciones Unidas, en el marco de ONU-Agua, sistema de coordinación interagencial en temas de agua, concordaron en que la seguridad hídrica es la capacidad de una población para resguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sustento, bienestar y desarrollo

socioeconómico sostenibles; para asegurar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con ella, y para preservar los ecosistemas, en un clima de paz y estabilidad política (ONU-Agua, 2013).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2013) indica mantener en niveles aceptables cuatro a riesgos asociados al agua: el riesgo de escasez en corto y largo plazo para los usos beneficiosos de todos los usuarios; el riesgo de inadecuada calidad para un propósito o uso determinado; el riesgo de los excesos incluidas las inundaciones; y el riesgo de deteriorar la resiliencia de los sistemas de agua dulce, por exceder la capacidad de asimilación de las fuentes de agua superficiales y subterráneas y sus interacciones.

Siguiendo esta lógica, se concibe seguridad hídrica como la capacidad de una población para salvaguardar a nivel de cuenca el acceso al agua en cantidades adecuadas, con la calidad apropiada para sostener la salud de la gente y de los ecosistemas, así como asegurar la protección eficaz de vidas y bienes durante desastres hídricos como las inundaciones, deslizamientos y hundimientos de terreno y sequías (Jiménez-Cisneros, 2015). Así mismo, Peña (2016) expone que la seguridad hídrica es aquella en la que cada persona tiene agua segura y a un costo accesible para llevar adelante una vida sana y productiva y en el que las comunidades son protegidas de inundaciones, sequías y enfermedades de origen hídrico. Además, promueve la protección ambiental y la justicia social abordando los conflictos y disputas que puedan surgir a partir de recursos hídricos compartidos.

1.4 Cambio climático

Los seres humanos han co-evolucionado siempre con su entorno social y natural, sin embargo, en los últimos 200 años han modificado como nunca las condiciones físicas del planeta, el cambio climático es el resultado de esta modificación del entorno natural (González, 2008).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC, 1998) es la referencia clave del Marco Legal Internacional Ambiental en esta materia. En

el Marco de la Cumbre de la Tierra de Rio de Janeiro, en Brasil. El principal objetivo de esta convención es: lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático, ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que aseguren que la producción de alimentos no se vea amenazada y permita que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

Para reforzar los compromisos cuantitativos de reducción de emisiones de los países desarrollados, el Protocolo de Kioto (1997), 38 países y la Unión Europea se comprometieron a reducir sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en un 5.2%, por debajo de los volúmenes que emitían en 1996 durante el periodo 2008-2012. Además, en las Conferencias de las Partes sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (COP's), se renueva periódicamente para evaluar los avances en los países con sus porcentajes de emisiones de GEI (Landa, Ávila y Hernández, 2010).

“El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como es evidente de las observaciones de las temperaturas globales promedio de la atmósfera, los océanos, derretimiento de nieve y hielo generalizado, y aumento global del nivel medio del mar” (IPCC, 2007, p.5). El informe de Cambio Climático 2014, estima que atmósfera y océanos se han calentado, la nieve y el hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado. La emisión de GEI se ha incrementado desde la era preindustrial, impulsada por el crecimiento económico y poblacional. La concentración en la atmósfera de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso no tiene comparación en los últimos 800,000 años. Se estima que las emisiones en conjunto con otros factores antrópicos, sean la causa dominante del calentamiento observado a partir de la segunda mitad del siglo XX. El informe considera los cambios en el ciclo del agua debido al cambio climático no serán uniformes. El contraste en la precipitación entre las regiones secas y húmedas, y entre las temporadas de lluvia y estiaje se incrementará, aunque es posible que haya excepciones regionales. Esto se derivará en riesgos para la cantidad y calidad del agua disponible para la sociedad (IPCC, 2014).

De acuerdo al desequilibrio climático, CONAGUA (2015) ha considerado algunos fenómenos hidrometeorológicos extremos recientes, entre ellos olas de calor, sequías, inundaciones, ciclones e incendios revelan la vulnerabilidad significativa y la exposición al riesgo de ciertos ecosistemas y muchos sistemas humanos ante la variabilidad climática. En cuanto al agua dulce, se prevé que durante el siglo XXI se reduzca el agua renovable superficial y subterránea en la mayoría de las regiones subtropicales secas, lo que incrementará la competencia entre los usuarios. Los efectos del cambio climático se acentuarán en las zonas con rápidos procesos de urbanización, sin dejar de lado los impactos en el medio rural por la disponibilidad del agua y los cambios de temperatura, que podría derivar en el desplazamiento de las zonas de cultivo y, por consiguiente, incidir tanto en la población rural como en la seguridad alimentaria en general.

Dentro de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, se tienen las sequías, inundaciones y huracanes, siendo estos eventos naturales que con frecuencia están asociados a desastres con pérdidas humanas y materiales. En el análisis de los desastres, se encuentra que los daños estimados como porcentajes del producto interno bruto (PIB) son significativamente mayores en países subdesarrollados, lo que puede acentuarse si continúa la tendencia global a la concentración de la población en localidades urbanas. Se consideran desastres climáticos a los asociados con fenómenos hidrometeorológicos como son: las sequías, inseguridad alimenticia, temperaturas extremas, inundaciones, incendios forestales, infestaciones de insectos, movimientos de tierra asociados a situaciones de origen hidrológico y las tormentas de viento (CONAGUA, 2017). Como se observa, los desastres y consecuencias por el cambio climático, constituye una seria amenaza para la colectividad humana y los sistemas naturales, proveedores de servicios ecosistémicos vitales (Cantú, 2014).

Según Trenberth y Thomas (2000), uno de los efectos más relevantes del cambio climático es la intensificación y disrupción del ciclo hidrológico global. El aumento de las concentraciones de los GEI en la atmósfera o los cambios en el balance global y/o ciclo natural del carbono, impactará sobre otros de los ciclos naturales del planeta, el “ciclo hidrológico global”. La intensificación y/o aceleración del ciclo hidrológico global se da principalmente por el aumento de la temperatura superficial del planeta, el derretimiento

de las grandes masas de hielo, pero también por los procesos de deforestación y pérdida de masa vegetal. Los GEI retienen el calor del sol cerca de la superficie del planeta, y ayudan a la evaporación del agua superficial para formar las nubes, las cuales devuelven el agua a la Tierra en forma de lluvia.

En los últimos 100 años (1906-2005), la temperatura ha aumentado alrededor de 0.74°C sobre su nivel promedio. Las temperaturas promedio del aire han aumentado 0.74°C (0.56 a 0.92) entre 1906 y 2005, y las temperaturas oceánicas se han incrementado en profundidades hasta de 3 000 metros (Conde-Álvarez, 2007). Además, el nivel medio del mar se ha incrementado cerca de 20 cm, más o menos 3.1 mm al año desde 1993. De acuerdo a Landa *et al.*, (2010) los efectos del incremento de las concentraciones de GEI en la atmósfera empiezan a manifestarse mediante:

- Cambios drásticos en la forma de llover y la cantidad de lluvia,
- Mayor ocurrencia de sequías más prolongadas y severas,
- Escasez de agua dulce,
- Incremento de enfermedades infecciosas y mortalidad relacionadas al clima,
- Cambios en diferentes procesos naturales, en el ciclo del agua, del oxígeno, del carbono, cambios en la distribución y tiempos de reproducción de algunas plantas y animales,
- Elevación del nivel del mar.

Cabe señalar, que el sistema hidrológico global juega un rol central e integrativo a la dinámica del sistema terrestre, al mismo tiempo que es un elemento central de la sobrevivencia humana, en cuanto su disponibilidad en cantidad y calidad para el consumo humano comienza a escasear. Mientras la población se incrementa y las economías crecen, la cantidad de agua en el planeta, permanece casi la misma; sin embargo, el recurso no se encuentra homogéneamente distribuido en el planeta, pues entre un 70% y 90% de la cantidad de agua económicamente disponible se usa en la agricultura, y solamente un 8% es para fines domésticos (González, 2008).

1.4.1 Principales impactos de cambio climático a nivel mundial

El cambio climático es una evidencia sustancial que muestra que la tierra se ha calentado desde mediados del siglo XIX. La temperatura media global ha aumentado en 0,8 ° C desde la década de 1850, con la tendencia al calentamiento observada en tres registros de temperatura independientes tomados sobre la tierra y los mares, así como en las aguas superficiales del océano. El cambio climático puede resultar de causas naturales, de actividades humanas a través de la emisión de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono y el metano, además de los cambios en el uso de la tierra, los niveles de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera aumentaron de aproximadamente 284 ppm en 1832 a 397 ppm en 2013, también existe un vínculo teórico entre los niveles de dichos gases de "invernadero" en la atmósfera y el calentamiento global. Las revisiones independientes han encontrado pruebas sólidas de causas humanas para el calentamiento de la temperatura observado principalmente causado por la quema de combustibles fósiles, con contribuciones más pequeñas de los cambios en el uso de la tierra (Wheeler y Braun, 2013).

Los países afectados más adversamente por el cambio climático serán aquellos que se localizan en regiones tropicales y subtropicales, donde se ubica la mayor parte de los países en desarrollo y, por lo tanto, los mayores problemas de pobreza y hambre. Dentro de los pronósticos de la variabilidad de la temperatura y precipitación a nivel mundial como efecto de los impactos al cambio climático, se espera que, en las regiones tropicales, incluso pequeñas cantidades de calentamiento provocarán una disminución en el rendimiento. En latitudes más altas, los rendimientos de los cultivos pueden aumentar inicialmente para aumentos moderados de la temperatura, pero luego caer. Sin embargo, las temperaturas más altas provocarán disminuciones sustanciales en la producción de cereales en todo el mundo, especialmente si los efectos de la fertilización con carbono son menores que antes, como sugieren algunos estudios recientes (Rodríguez, 2007).

Por su parte, el IPCC, ha realizado estudios, específicamente para la agricultura, el informe respalda el pronóstico de ganancias iniciales modestas seguidas de pérdidas

subsiguientes en las latitudes medias y altas, pero pérdidas tempranas en las latitudes más bajas, lo cual indica:

- Se proyecta que la productividad del cultivo aumente ligeramente en latitudes medias a altas para aumentos locales de la temperatura media de 1-3°C dependiendo del cultivo, y luego disminuya más allá de eso en algunas regiones.
- En las latitudes más bajas, especialmente en las regiones secas y tropicales, se proyecta que la productividad del cultivo disminuirá incluso para pequeños aumentos locales de la temperatura (1-2 °C), lo que aumentaría el riesgo de hambre.
- Se proyecta que el potencial de producción de alimentos aumente en la temperatura promedio local en un rango de 1-3 °C, pero por encima de esto se proyecta que disminuirá.

Las adaptaciones tales como los cultivares alterados y los tiempos de siembra permiten que los rendimientos de cereales de latitudes bajas y medias a altas se mantengan en o por encima de los rendimientos de referencia para un calentamiento moderado, se proyecta que los aumentos en la frecuencia de sequías e inundaciones afectarán negativamente la producción local, especialmente en los sectores de subsistencia en latitudes bajas (Cline, 2007). Por su parte Rodríguez (2007) pronostica una serie de preocupaciones por los impactos del cambio climático en la agricultura, como:

- Se proyecta un ligero incremento en la productividad de los cultivos en las altitudes medias y altas, para incrementos promedios regionales de temperatura entre 1 y 3°C, dependiendo del tipo de cultivo.
- En las latitudes menores, se proyecta una reducción en la productividad de los cultivos, incluso para pequeños incrementos en temperatura media (1 a 2°C), lo cual va a aumentar la hambruna.
- Se proyecta que el incremento en la frecuencia de las sequías e inundaciones afectará la producción local negativamente.

Por lo tanto, es importante señalar que la producción agropecuaria, si bien será uno de los sectores productivos más fuertemente afectados por el cambio climático, también es un responsable directo de significancia de la importancia ya que las estimaciones recientes muestran que la producción agropecuaria contribuye con alrededor del 15% de los GEI y alrededor del 30% si se incluyen los efectos del mal manejo de los bosques naturales (Piñeiro, 2012). Con base en esto, la agricultura es uno de los sectores más afectados por el cambio climático, cuanto mayor sea el sustento de un hogar depende de la agricultura, más sensible estará el hogar a los impactos del clima. Si bien es difícil obtener buenos datos sistemáticos sobre las fuentes de ingresos de los hogares en el mundo en desarrollo, se han realizado múltiples esfuerzos recientes para tratar de sistematizar los datos de las encuestas disponibles sobre los ingresos de los hogares y para discernir los patrones básicos en todo el mundo en desarrollo (Martínez-Jaso y Villezca-Becerra., 2005).

El gobierno del Reino Unido, realizó un estudio de utilidad sobre los impactos agrícolas del calentamiento global. Las evaluaciones clave en el estudio revelaron que existe una "función de colina" parabólica para el impacto agrícola, y la ubicación en la colina depende de la ubicación geográfica y otros factores para el calentamiento a 1°C habría "aumentos modestos en los rendimientos de cereales en las regiones", y con 2°C de temperatura ya habría "fuertes disminuciones en el rendimiento de los cultivos en las regiones tropicales" (5-10 millones de personas afectadas principalmente en África). Así mismo con 3°C de calentamiento, habría entre 150 y 550 millones de personas adicionales en riesgo de hambre si la fertilización con carbono es débil y los rendimientos agrícolas disminuirían entre un 15 y 35 % en África, y regiones enteras saldrían de la producción (Cline, 2007).

Por ello, el cambio climático no se enfrentará a un mundo estático. Los seres humanos responden a los cambios en su entorno natural y económico y, a menudo, se mejoran al hacerlo, una capacidad de respuesta claramente evidente en la agricultura. A medida que las poblaciones humanas crecieron y se extendieron durante los milenios pasados, la producción de alimentos se expandió a los rincones más lejanos del mundo, alimentando a las poblaciones en crecimiento en entornos y climas sorprendentemente

diversos. Esta capacidad de la humanidad para adaptar la agricultura a nuevos climas es una prueba para muchos de que el cambio climático no representa una amenaza fundamental para la agricultura, ya que los humanos inteligentes, como en siglos pasados, simplemente adaptarán la agricultura a sus nuevas condiciones de crecimiento (Lobell y Burke, 2010).

1.4.2 Principales impactos de cambio climático en México

En el caso particular de México, se observa a pesar de tener una ubicación geográfica privilegiada, se verá severamente afectado por el cambio climático. Los escenarios para México muestran que: a) la temperatura podría aumentar entre 1.8 y 4°C hacia finales del presente siglo; b) las variaciones en las lluvias serían en promedio de 5%, pero si el incremento llega entre 10 y 20% y de 1 a 2°C de aumento en la temperatura se reducirá la producción de habas, maíz y arroz cerca del 10%); se podría incrementar el nivel medio del mar entre 40 cm y 1.2 m a finales del siglo (Landa *et al.*, 2010).

En nuestro país, de acuerdo a las estimaciones del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) enfrenta la necesidad de hacer más sustentable su producción de alimentos. Actualmente, en México se destina a la agricultura tres cuartas partes del agua disponible en las regiones donde los productores cuentan con sistemas de riego. La escasez de lluvias y la creciente necesidad de abastecer a las ciudades hace insostenible esta distribución del vital recurso, así como, el incremento de la población mexicana se tendrá que duplicar la producción nacional de alimentos para satisfacer la demanda de una población que se duplicará en los últimos 40 años para alcanzar 230 millones de personas en 2050. Debido a esto, es un reto de elevar la productividad en la agricultura se sume a la adaptación al cambio climático, los expertos han estimado que los efectos del cambio climático podrían reducir hasta 25% la producción agrícola del país en 2080 (Curiel, 2013).

Existe estimaciones de los efectos de cambio climático global, para 2030 algunas de las principales cuencas de México registrarán condiciones de elevado estrés hídrico. La condición de escasez hídrica se determina por medio de la disponibilidad per cápita. De esta manera, cuando la disponibilidad es menor a 1700 metros cúbicos por habitante

por año ($\text{m}^3/\text{hab}/\text{año}$) se estima que existe escasez; cuando es menor a 1000 de $\text{m}^3/\text{hab}/\text{año}$ se considera escasez extrema, y cuando es menor a 500 $\text{m}^3/\text{hab}/\text{año}$, se aprecia escasez absoluta. Para México, se agravará la condición de escasez absoluta que ya padece. Las regiones del río Bravo y la península de Baja California se encontrarán en escasez extrema y la cuenca Lerma-Chapala en condiciones de escasez (menos de 1700 $\text{m}^3/\text{hab}/\text{año}$). Las regiones hidrológicas administrativas Balsas y Cuencas Centrales del Norte se encontrarán próximas a condiciones de escasez, que probablemente alcanzarán como resultado del cambio climático (Martínez-Austria, 2013). Con estos y otros estudios recientes estiman que para México a finales de este siglo se reducirá la precipitación en su territorio en alrededor del 15% (Patiño-Gómez, 2011).

De acuerdo a Cline (2007), se tiene un registro de temperatura media en 1961-1990 fue de 20.66 °C, se estima en un futuro 2070-2099, será de 24.71°C, por ende, se va incrementar. En el caso de la precipitación media, se tiene que 1961-1990, fue de 2.09 mm y en un futuro se estima de 1.84 mm, es decir, la precipitación va descender. De acuerdo a la información anterior, no se tiene un panorama muy favorable, al contrario, se prevé que la temperatura va aumentando y con ello, se altera el ciclo hidrológico, ocasionando cambios en las lluvias, sequías, cambio en climas, etc. Además, cabe señalar que en la mayoría del territorio mexicano se registra escasez de agua, así como poca disponibilidad de alimentos, siendo temas que están estrechamente ligados, dependiendo directamente del cambio climático.

1.4.3 Cambio climático y seguridad alimentaria

La seguridad alimentaria mundial se notará no solo en el suministro de alimentos, sino también en la calidad, el acceso y la utilización de los mismos y en la estabilidad de la seguridad alimentaria con el impacto del cambio climático. La seguridad alimentaria para el siglo XXI tiene tres componentes fundamentales: 1) la disponibilidad de alimentos en el mercado, 2) el adecuado poder adquisitivo para obtener los alimentos; y 3) la capacidad humana para digerir y absorber los nutrientes. A medida que nos adentramos en el nuevo milenio, la población global continúa creciendo y surgen temores acerca del

desbalance potencial entre el número de seres humanos y las necesidades alimentarias, especialmente en países con gran población (Cambremos, 2000).

Para alcanzar una seguridad alimentaria se ha contemplado el cambio climático como un impacto directo e indirecto en las dimensiones que se debe cumplir en esta seguridad. Por tal motivo, el calentamiento global de las emanaciones de los GEI que resultan de las actividades humanas y principalmente de la combustión del petróleo y sus derivados es un hecho de creciente importancia. Algunas de las consecuencias y en el régimen de precipitaciones pluviales (cambio climático), fenómenos que afectan en forma negativa la producción agropecuaria y consecuentemente la seguridad alimentaria. La producción de alimentos será particularmente sensible al cambio climático, ya que la productividad de los cultivos depende en gran parte de las condiciones climáticas imperantes (temperatura y agua pluvial). La agricultura representa actualmente un 24% de la producción mundial total y ocupa a un 22% de la población global y un 40% del territorio. El 75% de la población más pobre del mundo vive en zonas rurales y depende de la agricultura para sus sustentos (Larqué, 2013).

Los sectores de la alimentación y la agricultura contribuyen de forma significativa a las emisiones de los GEI. Según, el informe de evaluación más reciente del IPCC, estiman que los niveles de emisiones antropogénicas de los GEI están hoy en su nivel histórico más alto. En los últimos 50 años, las emisiones de GEI provenientes de la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra se han casi duplicado, y las previsiones indican que seguirán aumentando hasta 2050. En 2010, se estimó que las emisiones provenientes de estas actividades alcanzaron 10.6 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente, derivadas en su mayor parte del uso de la tierra, la producción ganadera, y la gestión de suelos y nutrientes. Se calcula que el sector produce un 21% del total de las emisiones globales de los GEI. Sin embargo, a través del almacenamiento de biomasa, los bosques eliminan GEI de la atmósfera y mitigan el cambio climático (IPCC, 2014). Dentro de las principales consecuencias potenciales del cambio climático para la agricultura se encuentran estas categorías (Conde-Álvarez, y Saldaña-Zorilla, 2007):

- Efectos directos sobre la productividad de las cosechas, efectos sobre la fertilidad de los suelos y efectos a larga escala sobre las zonas agrícolas;
- incremento de la fertilización de los suelos por la elevación de los niveles de CO₂;
- variación en la temperatura y en la disponibilidad de agua a niveles lejanos de los óptimos para el cultivo de algunas cosechas;
- pérdida de cosechas debido a la fuerza, frecuencia y duración elevada de eventos extremos del tiempo, como sequías y monzones;
- incremento en la amenaza de plagas ya que los inviernos más cálidos y el incremento de la humedad les proporcionan mejores condiciones reproductivas.

Landa *et al.*, (2010) mencionan algunos de los principales impactos del cambio climático en la agricultura podrían ser: a) la superficie no apta para el cultivo de maíz de temporal o disminuirá dependiendo de los cambios en cada país; b) disminución de la productividad por cambio en la disponibilidad y calidad del agua para riego; c) dificultades para iniciar los ciclos agrícolas ante cambios en las lluvias, d) ampliación del ciclo de cultivo por aumento en la temperatura y reducción de la amenaza de heladas tempranas; e) reducción en la humedad y aumento de la erosión en suelos agrícolas; f) aumentos de la salinización y desertificación de tierras agrícolas; g) incremento de pérdidas de cultivos vinculadas a eventos hidrometeorológicos extremos/superficies incendiadas o afectadas por sequías o inundaciones; h) pérdidas en superficies agrícolas costeras por incremento en el nivel del mar, intrusión de agua salina en acuíferos e inundaciones recurrentes en tierras bajas y márgenes de ríos; i) disminución productiva por cambios en el comportamiento de especies de plagas, depredadores o polinizadoras de los cultivos.

En las regiones tropicales, incluso dosis reducidas de calentamiento provocarán descensos en la productividad agrícola. En latitudes más próximas a los polos, puede que los rendimientos de los cultivos aumenten inicialmente a incrementos moderados de temperatura, pero luego también decaerán. El ascenso de las temperaturas causará descensos sustanciales en la producción cerealista de todas las regiones del mundo (Stern, 2007). Además, las proyecciones de la FAO estiman que la producción de maíz

y trigo en 2050 no será suficiente para satisfacer la demanda mundial de ambos granos debido, principalmente, al efecto combinado del cambio climático, la escasez de insumos para la producción (agua, tierra arable de calidad y energía), y el surgimiento de nuevas plagas y enfermedades (Curiel, 2013). Así mismo, el cambio climático deteriorará las circunstancias y escenarios de vida de granjeros, agricultores, pescadores y de quienes subsisten de los sistemas naturales. Estas poblaciones que, por su actividad económica, ya se contemplan como vulnerables, persisten en condiciones de inseguridad alimentaria y continuarán seguramente comprometidos por el hambre y la desnutrición.

Además, se añade que el cambio climático, en particular, afligirá a cerca de 200 millones de familias en el plano internacional, cuyos recursos de vida derivan de la actividad agrícola y pesquera, esto a su vez ocasionará mayores niveles de desplazamientos y de movimientos migratorios, así como, el número de personas con hambre en el mundo llegó a la cifra de 1.000 millones (Cantú, 2014). Bajo este panorama crítico, Wheeler y Braun (2013) consideran pertinentes las decisiones aún deben ser tomadas por los marcadores políticos y los profesionales que se enfrentan a la perspectiva de los impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria, a pesar de las incertidumbres muy reales en el conocimiento actual y las tendencias futuras. Para aquellos que toman decisiones, proponen, con un cierto grado de confianza de la evidencia existente, seis preceptos para los impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria:

- los impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria serán peores en los países que ya sufren altos niveles de hambre y empeorarán con el tiempo,
- las consecuencias para la desnutrición global y la malnutrición de no hacer nada en respuesta al cambio climático son potencialmente grandes y aumentarán con el tiempo,
- las desigualdades alimentarias aumentarán, desde el nivel local al global, porque el grado de cambio climático y la magnitud de sus efectos en las personas diferirán de una parte del mundo a otra, de una comunidad a otra, y entre zonas rurales y urbanas áreas,

- las personas y comunidades que son vulnerables a los efectos del clima extremo ahora serán más vulnerables en el futuro y serán menos resistentes a los choques climáticos,
- existe un compromiso con el cambio climático de 20 a 30 años en el futuro como resultado de las emisiones pasadas de los GEI que requieren acciones de adaptación inmediatas para hacer frente a la inseguridad alimentaria mundial durante las próximas dos o tres décadas,
- es probable que los eventos climáticos extremos se vuelvan más frecuentes en el futuro e incrementen los riesgos e incertidumbres dentro del sistema alimentario global.

Tabla 1-1 Impactos positivos y negativos del cambio climático en el sector agrícola.

| Impactos positivos | Impactos negativos |
|---|--|
| Posibilidad de nuevos cultivos en varias regiones | Mayor incidencia de plagas y enfermedades |
| Mayor periodo para los ciclos anuales | Mayor diversidad de cultivos |
| Aceleración de la maduración de algunos frutos | Daños a cultivos por calor extremo |
| Mayor producción a corto plazo | Menor eficacia de herbicidas y plaguicidas |
| Reducción en la severidad y duración de heladas | Predicciones menor confiable y menor producción por acortamiento del ciclo |

Fuente: elaboración propia con base en Landa *et al.*, (2010)

De acuerdo a estos impactos se recomienda desarrollar acciones sobre todo que ayuden a mitigar los impactos negativos por el cambio climático con la ayuda de los expertos en diversas temáticas. Como se observa anteriormente, algunos de los impactos positivos y negativos del cambio climático en el sector agrícola (Tabla 1-1).

1.4.4 Cambio climático y seguridad hídrica

Primeramente, el IPCC estima que la disponibilidad de agua puede reducirse entre un 20-30 % en regiones como el Sahel, el Cuerno de África y Oriente Próximo, regiones que ya sufren una presión hídrica considerable. Actualmente, dos tercios del mundo árabe se abastecen con agua que proviene de fuera de sus fronteras, y se estima que la disponibilidad de agua en Israel podría reducirse hasta un 60% hacia finales de siglo. La escasez de agua elevará la tensión y la posibilidad de conflictos (Olabe y González, 2008).

La seguridad hídrica necesita considerar los niveles local, regional y nacional. En la medida en que la salud, la educación, la energía y la seguridad alimentaria aumenten, también incrementará la seguridad hídrica para que evite la contaminación y brinde soporte a los objetivos de alivio de la pobreza. Alcanzar la seguridad hídrica es un componente clave para lograr acuerdos internacionales con objetivos de desarrollo relacionados con la reducción absoluta de la pobreza, mejoramiento de la salud y conservación de los recursos ambientales (Macip-Ríos y Espinosa-Santiago, 2014).

Como se observa anteriormente, el cambio climático representa una amenaza para el suministro del líquido en varias regiones y países, en particular para los grupos sociales marginados y que viven en áreas con baja disponibilidad. Las poblaciones de zonas secas están en mayor riesgo hídrico, debido a la actual disminución de reservas de agua superficial ya que se expone a una mayor evaporación del agua por incremento de la temperatura, mayor ocurrencia de sequías y disminución o retraso en las lluvias (Ávila, 2008).

Como bien lo prevé Stern (2007), el cambio climático modificará las pautas de disponibilidad de agua intensificando el ciclo hidrológico (el aumento de temperaturas incrementa la capacidad de retención hídrica del aire, por lo que la cantidad de agua evaporada del terreno en las zonas secas del mundo será mayor, pero donde llueva, las precipitaciones se producirán en episodios más violentos). Las sequías y las inundaciones se volverán más inclementes en numerosas zonas. Habrá más lluvia en latitudes altas, menos precipitaciones en el área subtropical seca y cambios inciertos, aunque probablemente sustanciales en las regiones tropicales. Las temperaturas más calientes a nivel de superficie del terreno inducen una evaporación más potente y, en consecuencia, una pluviosidad más intensa, con el incremento de riesgos potenciales.

Existen otras predicciones como los cambios en el clima y las condiciones esperadas bajo el cambio climático pueden provocar que el ciclo hidrológico sea más intenso con lo que se podría: aumentar el número de tormentas severas; presentar periodos de sequías extremas y prolongadas; aumentar el número de incendios forestales; afectar los ecosistemas naturales que hacen posible el mismo ciclo del agua;

disminuyan las lluvias entre 5 y 10% para finales de este siglo; se afecte la calidad de los cuerpos de agua dulce por elevación del nivel medio del mar; se agraven las formas de contaminación del agua, lo que podrá impactar a los ecosistemas naturales y a la salud humana; existan problemas para el mantenimiento y la operación de la infraestructura de protección, distribución y almacenamiento de agua a los poblados; además, de daños físicos a la infraestructura hidráulica, es decir, a los drenajes, presas y tuberías diversas (Landa *et al.*,2010).

De acuerdo al Banco Mundial, el cambio climático creará condiciones más difíciles para producir y abastecer de alimentos suficientes a una creciente población mundial, en este sentido es imprescindible no acometer sobre los sistemas naturales ya alterados, a fin de no agravar la situación de los mismos. Asevera que será necesario incrementar al doble la tasa existente de crecimiento de rendimiento agrícola, pero considerando que es importante disminuir el deterioro ambiental ligado a esta actividad (Cantú, 2014). De manera global, se verán afectados los recursos hídricos, en algunas regiones el exceso de agua puede ser más dañino que la sequía. Incluso el cambio climático puede alterar la disponibilidad temporal del agua. Por lo tanto, la adaptación de los recursos hídricos en el caso de la agricultura debe contemplar mejoras en las tecnologías de riego y de drenaje. Entre los casos estudiados, las mejores posibilidades de incrementar el área irrigada corresponden a Brasil. En las demás regiones, esto implicaría aumentar el estrés del sistema hídrico (Vargas, 2007).

Se tienen estudios acerca de los impactos de la cantidad y calidad de agua disponible en el planeta. El estrés hídrico es una de las razones de los efectos agrícolas adversos. La revisión juzga que las áreas ya secas como la cuenca mediterránea y partes del sur de África y América del Sur experimentarán una disminución del 30% en el escurrimiento de agua para el calentamiento de 2°C y reducciones de 40 a 50 % para el aumento de 4 ° C, aunque habrá un aumento de agua disponibilidad en el sur de Asia y partes del norte de Europa y Rusia (Cline, 2007).

Para el caso de México, en cuanto a la temperatura, los escenarios de cambio climático pronostican incrementos muy importantes, la temperatura media aumentará

entre 2 y 4 °C, se pronostica siga en aumento, entre 3 y 5.5 °C. Estos cambios en la temperatura media tendrán grandes efectos en la demanda hídrica del medio ambiente y de los usos agrícola y urbano. Desde luego, no son solamente importantes los cambios anuales, sino los que ocurrirán en los diversos meses del año. Además, los cambios esperados en la precipitación para el periodo 2075-2099, estiman varios escenarios desfavorables, como la reducción en la precipitación entre 20 y 30% en la zona norte de México. El efecto combinado de una menor precipitación, disminuirá en una proporción mayor la disponibilidad natural superficial y subterránea, y de una mayor demanda de agua ocasionada por el aumento en la temperatura, producirá un mayor desbalance y escasez de agua, sobre todo en las regiones donde ya existen problemas de crecimiento poblacional y urbanización (Martínez-Austria *et al.*,2017).

Como se observa, el agua y los alimentos están interrelacionados, de hecho, en el mundo en desarrollo son caras de la misma moneda. La falta de lluvias disminuye la productividad agrícola, lo que se traduce automáticamente en aumentos en los precios de los alimentos. Aunque existe una multiplicidad de causas tras los conflictos, los factores ambientales actúan amplificando las tensiones. Estas predicciones parecen haberse cumplido como es el caso de algunos países como Haití, Kenia, India o Vietnam, donde el encarecimiento de alimentos y los cereales está generando reacciones sociales violentas (Olabe y González, 2008).

En el presente capítulo se realizó una búsqueda del concepto de desarrollo sustentable, así como de lo que implica la seguridad alimentaria e hídrica desde una perspectiva global y nacional, considerando el cambio climático un factor importante para ambas seguridades, siendo importantes los impactos directos e indirectos. En el siguiente capítulo se aborda más a detalle del concepto de seguridad alimentaria y sus dimensiones.

Capítulo 2 Seguridad alimentaria

En el presente apartado se da a conocer el concepto de seguridad alimentaria propuesto por la FAO, y las instituciones encargadas de monitorear si se cumple este concepto en América Latina y México. Además, cómo surge y fortalece el sector agrícola en México, desde los años 40's, siendo un tiempo crucial para los ejidatarios, los cuales aprovechan sus tierras de manera colectiva y con apoyos financieros durante el sexenio de Lázaro Cárdenas del Río hasta la actualidad. Como se favoreció a los ejidatarios para aprovechar sus tierras de manera colectiva y con apoyos financieros, así como, el impulso de los cultivos de las tierras para producir todo producto agrícola. Además, se analiza la producción agrícola a nivel mundial y específicamente en el territorio mexicano, considerando que mientras crece más la población será más complicado alimentar a más individuos si se considera que la capacidad de crecimiento de la población es infinitamente mayor que la capacidad de la tierra para producir alimentos para el hombre (Malthus, 1798). Posteriormente, como se administra la producción agrícola en el país, los cultivos de riego y temporal, los productos de canasta básica; así como, los productos de exportación e importación. Finalmente, la afectación del cambio climático para México, y sus principales consecuencias a las variaciones climáticas en la producción agrícola en el país.

2.1 Concepto de seguridad alimentaria

El concepto se creó a mediados de los años 70, cuando la Cumbre Mundial sobre la Alimentación (FAO), definió la seguridad alimentaria desde el punto de vista del suministro de alimentos: asegurar la disponibilidad y la estabilidad nacional e internacional de los precios de los alimentos básicos. Como se concentró en el acceso a los alimentos, dando un enfoque diferente, haciendo hincapié hacia una definición basada en el equilibrio entre la demanda y el suministro de la seguridad alimentaria (FAO, 1983): se enfoca en asegurar que todas las personas tengan en todo momento acceso físico y económico a los alimentos básicos que necesitan. Al transcurrir el tiempo, se dice que haya en todo tiempo existencias mundiales suficientes de alimentos básicos para

mantener una expansión constante del consumo y contrarrestar las fluctuaciones de la producción y los precios FAO (1996).

Analizando ambos conceptos de la FAO, da mayor fuerza a la índole multidimensional de la seguridad alimentaria e incluye el acceso a los alimentos y la estabilidad del suministro. Surge así, este nuevo concepto (FAO, 1996):

Existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimentarias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana.

Esta definición, es comúnmente la más aceptada, en la Tabla 2-1, se señalan las siguientes dimensiones de la seguridad alimentaria:

Tabla 2-1 Dimensiones de la seguridad alimentaria

| Dimensión | Implicación |
|-----------------------------|---|
| Disponibilidad de alimentos | La existencia de cantidades suficientes de alimentos de calidad adecuada, suministrados a través de la producción del país o de importaciones. |
| Acceso a los alimentos | Acceso de las personas a los recursos adecuados (recursos a los que se tiene derecho) para adquirir alimentos apropiados y una alimentación nutritiva |
| Utilización | Utilización biológica de los alimentos a través de una alimentación adecuada, agua potable, sanidad y atención médica, para lograr un estado de bienestar nutricional en el que se satisfagan todas las necesidades fisiológicas. |
| Estabilidad | Para tener seguridad alimentaria, una población, un hogar o una persona deben tener acceso a alimentos adecuados en todo momento. |

Fuente: elaboración propia con base en FAO, 1996

En la Cumbre Mundial sobre la Alimentación, 1996, se aceptó de manera formal el derecho a una alimentación adecuada. Actualmente, más de 40 países han consagrado el derecho a la alimentación en su constitución y la FAO estima que 54 países podrían instaurar este derecho. La seguridad alimentaria existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana (FAO, 1996).

A nivel Latinoamérica se han creado instituciones enfocadas a cumplir con seguridad alimentaria, como la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). En México existen instituciones como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), que se encarga de aportar información referente a la temática de seguridad alimentaria; con el desarrollo de proyectos e investigaciones con miras de obtener información relevante y conveniente para la toma de decisiones en pro del buen desarrollo agrícola sustentable para la población.

En 1994, la FAO creó el Proyecto Estratégico para la Seguridad Alimentaria (PESA), como uno de sus principales programas, con el fin de incrementar la producción de alimentos para reducir las tasas de hambre y desnutrición. La operación del PESA en México se retoma en 2002, por el gobierno federal a través de SAGARPA, la cual solicita apoyo del fondo del Programa de Cooperación Técnica (PCT), cumpliendo dos objetivos: 1) elaborar un documento para su ejecución de un programa para combatir a la pobreza y aumentar la seguridad alimentaria en microrregiones piloto, y 2) colaborar con el gobierno en la definición de una unidad de ejecución del PESA y de un comité interinstitucional de supervisión del programa (SAGARPA, 2015).

2.2 Sector agrícola en México

El sector agrícola en México ha cambiado considerablemente a través del tiempo, sobre todo de los años 30's hasta la actualidad. Durante el sexenio del presidente Lázaro Cárdenas (1934-1940) contenía una visión política y social del campo que ponía énfasis en el fraccionamiento de los grandes latifundios en poder de unas cuantas familias, y en la redistribución de la tierra bajo las modalidades de ejidos y de pequeñas propiedades. De esta manera, Lázaro Cárdenas, en el código Agrario de 1940, señaló, como reforma fundamental (Vázquez-Pallares, 1981):

- Atribuir la propiedad de los bienes ejidales al núcleo de población. Todos los ejidatarios beneficiados son propietarios del ejido. La propiedad ejidal es una propiedad de un grupo social, no de un individuo en particular. Es una propiedad social, una propiedad no de toda la sociedad, sino de un grupo humano, el núcleo de población beneficiado. La propiedad social ejidal es una propiedad colectiva.
- Restringe el dominio individual solo al disfrute de las unidades de dotación o a las parcelas correspondientes. La nación otorga al ejidatario el uso y el goce sobre las mismas, el usufructo vitalicio y hereditario.
- Establece que la explotación de los ejidos podrá ser individual o colectiva, según lo determine la economía agrícola ejidal o la voluntad de los ejidatarios.

Para cumplir con lo anterior, fundó el Departamento Agrario, la Comisión Nacional Agraria, y una Comisión Agraria Mixta en cada entidad federativa (CAM) con la participación de las organizaciones campesinas, se impulsaron reformas legales para que los peones y jornaleros desposeídos obtuvieran tierras y aguas. El reparto agrario durante el cardenismo se convirtió en el principal programa de acción política para resarcir las condiciones de inequidad en el campo y las demandas históricas étnicas y comunitarias, las cuales habían llevado al campesinado a involucrarse en la gesta revolucionaria. Las tierras entregadas principalmente bajo la forma de dotación o restitución fueron más de 20 millones de hectáreas, beneficiando a 771,640 derechosos (Hansen, 1980).

Para hacer rentable la explotación de la tierra bajo el modelo de ejido y de pequeña propiedad, en 1936 se fortaleció al antiguo Banco Nacional de Crédito Agrícola, cambiándole el nombre por el de Banco Nacional de Crédito Ejidal. Por medio de esta institución, el gobierno federal transfería a los campesinos recursos crediticios para la producción agrícola. La tarea de la nueva entidad consistía en dotar de créditos a los campesinos de las comunidades ejidales organizadas colectivamente a través de sociedades para adquirir las herramientas, las refacciones, los avíos y la maquinaria agrícola que les permitiera aumentar la capacidad productiva de sus parcelas. También

dicha institución proporcionó los recursos para adquirir sementales extranjeros de reses, cerdos y cabras con los cuales se intentó mejorar la calidad del ganado del campesino ejidatario mexicano (Agüero y León, 2010).

Básicamente, lo que implicaba organizar, reglamentar y vigilar el funcionamiento de las Sociedades Locales de Crédito Ejidal y, en consonancia con el Banco Nacional de Crédito Agrícola, reglamentar el funcionamiento de las Sociedades de Interés Colectivo Agrícola cuando en ellas hubiera intereses ejidales. En otros términos, esta ley constitutiva señaló al banco dos fines esenciales con base en Castaño (2014): 1) el de distribuir el crédito entre los ejidatarios y 2) el de organizar la actividad económica del ejido; que no eran sino dos aspectos diversos de la misión social que el gobierno federal le había encomendado a tal institución: la de mejorar las condiciones de vida de los ejidatarios del país, transformándolos en productores agrícolas autónomos. De esta manera, se deseaba aumentar el rendimiento y productividad del campo para mejorar así las condiciones de vida de los campesinos y asegurarles la posesión y el aprovechamiento de la tierra. Se pensaba que todas estas políticas, al fin y al cabo, ayudarían a incrementar la producción agrícola en la república; pues la agricultura se consideraba como la base y sustentación de la economía interna. Se ha dado apoyo al campo mexicano para favorecer la producción agrícola por las instituciones gubernamentales tales como SEDUE (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología), FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura), SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), actualmente, SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural).

Actualmente, se asignan apoyos para el campo, existen instituciones encargadas para fortalecer y desarrollar programas para la producción agrícola en todo el país, y en el territorio mexicano, como es el caso de la SADER.

En el Artículo 11 del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas se reconoce el derecho fundamental de las personas deben estar protegidas contra el hambre, por lo que los Estados firmantes deberán tomar las medidas apropiadas para asegurar la efectividad de este derecho. El país agrícola

mexicano enfrenta un reto de productividad importante ya que, de acuerdo con la organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO, en inglés), un país debe ser capaz de producir al menos 75% de los alimentos que consume para dar seguridad alimentaria a su población (Curiel, 2013).

Dentro de la Constitución Mexicana de los Estados Unidos Mexicanos, en 2011 se realizó una reforma constitucional de los artículos 4 y 27 para reconocer el derecho a la alimentación como un derecho fundamental de todas y todos los mexicanos (Urquía-Fernández, 2014). En el Artículo 4 se garantiza satisfacer las necesidades de alimentación, salud, educación y esparcimiento de los niños y las niñas para asegurar su desarrollo integral (Cuéllar, 2011). En el artículo 27 se establece que el desarrollo rural integral y sustentable tendrá entre sus fines que el Estado garantice el abasto suficiente y oportuno de los alimentos básicos Cabe señalar, que se favorece e impulsa a la producción agropecuaria (Chiriboga y Piñeiro, 2009).

A continuación, se analizará breve repaso retrospectivo de la producción agrícola en nuestro país considerando el movimiento de Independencia, el cual cambio la situación política, económica, y social de la cuestión alimentaria.

Antes del movimiento de Independencia, la situación política estaba dominada por los grandes hacendados, los cuales tenían a sus servicios a los trabajadores por unos cuantos pesos y abasto de alimento. Existía una desigualdad entre los dueños de las tierras y los campesinos, además en la cuestión económica, los hacendados gozaban de las ganancias de los trabajos de todos los empleados. Durante las primeras décadas de la Independencia, la elevada protección arancelaria entre otras formas de ayuda federal y estatal impulsaron a los empresarios mexicanos, así como, extranjeros a reconstruir y ampliar la industria textil. Para 1800-1810, los promedios se excedieron, en cuanto a la tasa de la producción agrícola no se elevó con mayor rapidez que la tasa de población. De 1810 a 1910, fue una etapa de lento crecimiento, estos años presenciaron el desenvolvimiento de la producción agrícola comercial, tanto para los mercados nacionales como para los extranjeros. En cuanto a la inversión extranjera fue la

construcción de ferrocarriles, industrias extractivas (minería y metalurgia) y producción petrolera (Hansen, 1980).

Con este comportamiento, el crecimiento de las exportaciones mexicanas y el desarrollo del mercado interno mexicano estuvieron íntimamente ligados. Para 1911, la favorable demanda extranjera para los comestibles y materias primas mexicanos provocó un aumento anual de 6.1 % en las entradas derivadas de la exportación. A medida que crecían las exportaciones, también crecía la demanda de los productos de parte del sector exportador, y el poder adquisitivo de los que obtenían sus ingresos de ese sector. También, la demanda extranjera estimuló la inversión para producir ciertos artículos agrícolas. Además, aumentó la lista de artículos que proporcionaba la exportación de café, ganado, algodón, garbanzo, azúcar, vainilla y chicle (Huerta, 1991).

De esta manera, las crecientes industrias de exportación, a su vez, incrementan la demanda de sus propios insumos productivos. En 1895 el sector agrícola empleó el 67% de la fuerza de trabajo, para 1900 el 66% y 1910 el 68.1%. Cuando México logró su independencia, en realidad mucho antes el México rural estaba dominado por la hacienda. De acuerdo a Hansen (1980) los rasgos característicos de esta forma particular de tenencia territorial eran:

- Grandes regiones bajo la propiedad de un solo dueño. Rara vez había haciendas de menos de mil hectáreas de superficie y algunas alcanzaban los cientos de miles.
- Una relativa autosuficiencia. Las cosechas de la hacienda proporcionaban todos los alimentos necesarios y se hacían esfuerzos para producir también todos los instrumentos, materiales de construcción y otros elementos de las operaciones agrícolas.
- Una fuerza de trabajo con residencia permanente (generalmente el peón siempre estaba endeudado con el hacendado).
- Ausentismo de los propietarios (el hacendado pasaba poco tiempo en su propiedad).

- Administración cautelosa (un ingreso seguro, aunque sea pequeño y tenga poca relación con el capital invertido).
- Métodos de producción atrasada. El ausentismo del propietario, la explotación de la mano de obra barata y subempleada, aplicación de métodos primitivos de cultivo.

Durante el proceso de la Revolución Mexicana, el comportamiento de la producción agrícola es una combinación de varias tendencias diferentes. Primero, la producción de materias primas destinadas al mercado interno se elevó con una tasa anual de 2.5%; segundo, la producción para la exportación aumentó en 6.5%; finalmente, la producción de alimentos y bebidas para el mercado mexicano disminuyó a una tasa anual de 0.5%. Entre 1877 y 1910, la producción de maíz se redujo en 50%, y el maíz era la base de la dieta mexicana. La producción de frijol, también se redujo en 75%. El régimen porfirista entre 1890 y 1911, acudió a la importación de grandes cantidades de maíz y trigo; sin embargo, la gran mayoría de los mexicanos comían menos hacia el final del régimen de Díaz que en sus comienzos. De esta manera, en los primeros diez años de la Revolución, la economía mexicana sufrió una severa baja en la producción minera (40%) y manufacturera (9%). La producción agrícola también disminuyó, a mediados de la tercera década el volumen de la producción mexicana sólo fue ligeramente más alta que la de los últimos años de Díaz (Hansen, 1980).

El “milagro” del crecimiento económico moderno de México, en el grado en que realmente lo sea, puede encontrarse en el comportamiento de la agricultura mexicana. A partir de 1935 la producción agrícola se ha elevado con una tasa real del 4.4% al año. El sector agrícola ha contribuido al desarrollo de México en dos rasgos característicos (Hansen, 1980):

- Ha llevado a México a una virtual autosuficiencia en la producción de comestibles y al hacerlo así ha suministrado, a una población que crece rápidamente a niveles más elevados de consumo alimenticio y mejores dietas.

- Las exportaciones agrícolas se elevaron en más del 6% anual, a partir de 1940 y han crecido del 25 al 50% del total de los ingresos debidos a la exportación de mercancías.

Al elevarse las exportaciones, también se tienen registros de aumento de inversión en irrigación, como se puede apreciar en la Tabla 2-2, en un periodo de 33 años se redujo el porcentaje de irrigación, menos de un 10%. Actualmente, en la parte norte y noroeste de México se ha convertido en el núcleo de la agricultura para el mercado. Los rendimientos de las tierras irrigadas son generalmente tres o cuartas veces mayores que los de las tierras no irrigadas y cada uno de los sistemas de irrigación está asociado con el cultivo de cuando menos uno de los principales artículos de exportación. Hoy en día, gran parte de esa tierra recién irrigada se cultiva en una forma parcial y totalmente mecanizada. La producción de esta zona del país se ha incrementado en los últimos 20 años (Hansen, 1980).

Tabla 2-2 Porcentajes del total de la inversión federal dedicado a la irrigación (1930-1963)

| Período | Inversión en irrigación (%) |
|-----------|-----------------------------|
| 1930-1934 | 11.3 |
| 1935-1939 | 18.6 |
| 1940-1944 | 15.1 |
| 1945-1949 | 16.9 |
| 1950-1954 | 15.9 |
| 1955-1959 | 11.9 |
| 1960-1963 | 8.2 |

Fuente: Consultado en la política del desarrollo mexicano (Hansen, 1980).

Dentro de un análisis cronológico de la política alimentaria, se dan distintas formas en que el Estado mexicano ha respondido a la producción de alimentos básicos en el país. A partir de los años treinta, dicha política se orientó a cubrir la creciente demanda urbana de alimentos baratos, contribuyendo así al afianzamiento de un “modelo de crecimiento bimodal” con un sector privado moderno en el uso de insumos y tecnología (Ortiz, Vázquez y Montes, 2005). Posteriormente, la crisis de los años setenta impuso la

reorganización del capitalismo global, y entre el inicio y fin del auge petrolero se impulsó la liberalización económica a escala planetaria, apoyada en los desastres de la crisis y las reformas emprendidas, entre las más importantes, la financiera (Cabrera, 2015). Actualmente, a finales del sexenio de López Portillo (1976-1980) se implementa el Sistema Alimentario Mexicano (SAM) para apoyar a la agricultura de temporal, impulsar agroindustrias campesinas, facilitar el acceso a la tierra, la tecnología y los insumos y promover una canasta básica de alimentos, todo ello con el fin de establecer una relación entre producción, abasto, consumo y nutrición. Este sistema no dejó de ser un programa de reactivación agrícola basado en fuertes subsidios, además se redujo la estimulación de la producción de granos básicos con un criterio productivista y modernizante. De esta manera, con los gobiernos subsecuentes, la política alimentaria nacional da un giro radical al abandonar la meta de autosuficiencia y apostar por el intercambio comercial como el mecanismo para garantizar la disponibilidad de alimentos (Ortiz *et al.*, 2005).

El mayor deterioro relativo de la productividad agrícola se registró durante los sesenta y en la primera mitad de los setenta, para mantenerse relativamente constante en la segunda mitad de esa década e iniciar una muy incipiente recuperación durante el primer lustro de los ochenta (Hernández, 1992). Por lo que se observa anteriormente, el panorama no era muy alentador. A finales de los setenta, la orientación “hacia adentro” del país reclamaba un drástico cambio en la misma que se posterga por más de una década a través del endeudamiento externo por efecto de la crisis mundial y de ingresos petroleros en 1972-1973 y 1979-1980; esto solo abonó a una crisis estructural, por tal motivo, el Estado mexicano ante la crisis, asume las directrices emanadas de las instituciones de la burguesía internacional (Fondo Monetario Internacional, etc.), esto con la finalidad de multiplicar los espacios para la acumulación de mecanismos que faciliten y aceleren la libre circulación de los flujos monetarios (Delgado y Mañán, 2005).

Durante el sexenio de Miguel de la Madrid (1982-1988), la meta de autosuficiencia se sustituye por la soberanía alimentaria, lo que implica poner más empeño en la capacidad de compra de los alimentos requeridos sin importar quién y cómo se produzcan, por tal motivo el SAM fue eliminado, y ahora el apoyo es orientado hacia los cultivos de exportación en detrimento de los básicos (Ortiz *et al.*, 2005). Específicamente,

desde 1982, para Delgado y Mañán (2005), la economía mexicana ha seguido una estrategia de crecimiento basada en las exportaciones, aplicando la receta neoliberal (desregulación, liberalización comercial y financiera, privatizaciones, disciplina fiscal, austeridad, desnacionalización, entre otros). En este periodo, para América Latina y México se impulsaron programas de privatización y apertura comercial, lo que constituyó una primera generación de reformas estructurales. Para Cabrera (2015) critica que estas reformas estuvieron diseñadas para acelerar la estrategia exportadora, propiciada por la contracción del mercado interno, debido a la profunda caída del salario y los ingresos de los trabajadores, haciendo énfasis que con el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), se aceleró el programa de liberalización y apertura comercial y financiera, impulsado por organismos como el Fondo Monetario Internacional (FMI) y el Banco Mundial (BM).

Durante el gobierno de Carlos Salinas de Gortari (1988-1994) la crisis alimentaria se agudiza debido a la ineficiencia de los pequeños productores, por lo que promueve la apertura comercial y la privatización de varios sectores de la economía, incluyendo la agricultura. Una de las metas en este gobierno fue la seguridad alimentaria y garantizar la disponibilidad de alimentos por medio de su importación. Esta política ha continuado durante el período de Ernesto Zedillo (1994-2000) y los tres años del gobierno de Vicente Fox, trayendo consigo una creciente dependencia de alimentos básicos del exterior. Una vez en vigor el TLCAN, el 40% de la demanda de productos alimenticios en México es cubierta por las importaciones de Estados Unidos y Canadá, estimándose que en menos de 5 años ésta será de 70% (Ortiz *et al.*, 2005).

Cabe señalar, que la seguridad alimentaria es un derecho que tienen los individuos a alimentos sanos, nutritivos y culturalmente apropiados; siguiendo esta lógica, en México se tiene una política que establece mecanismos que estimulen la producción de granos básicos, tales como el maíz y el frijol, pilares fundamentales en la dieta de la mayoría de la población. Sin embargo, se ha generado una creciente dependencia en importaciones de granos como parte de la dieta básica (Ortiz, *et al.*, 2005).

Actualmente, las reformas neoliberales promueven la reinserción de la economía mexicana en el contexto capitalista global. Surge el proceso de privatizaciones, el cual se desarrolló en tres ejes básicos (Delgado y Mañán, 2005): 1) generar espacios para la acumulación privada nacional y extranjera, convirtiéndose en una atracción importante sobre todo para la inversión extranjera directa; 2) aligerar las finanzas públicas en el corto plazo, haciendo que los fondos frescos provenientes de la venta de empresas mejoren los equilibrios fiscales, y 3) exonerar de obligaciones al Estado para las nuevas inversiones en los ejercicios venideros. Así como, la desregulación-liberalización también fue crucial para la nueva inserción internacional. Con el propósito de generar condiciones propicias para una estrategia exportadora, se eliminan barreras proteccionistas a la entrada de productos desde el exterior. Por un lado, las importaciones “sujetas a permiso” se reducen drásticamente. Para comprender lo anterior, se tiene que el sector exportador creció de manera rápida, entre 1982-2001 las ventas al exterior del país se septuplicaron, al elevarse de 22 a 158 mil millones de dólares. Cabe señalar, que dicho incremento vino acompañado de un aumento de las importaciones aún mayor (las cuales se multiplican por nueve); por lo que la orientación exportadora de la economía, lejos de mitigarse se agrava.

En 1994, se aplicó una amplia y rápida desgravación del comercio entre los países integrantes del TLCAN; México al ser el más débil tecnológica, financiera, económica y políticamente fue el más afectado, lo que se profundizó con la crisis de 1994-1995. Las exportaciones de México se concentraron en Estados Unidos (EU), llevadas a cabo principalmente por un reducido número de empresas transnacionales y altamente concentradas, además, nuestro país ocupó el octavo lugar entre los países exportadores. Cabe resaltar, que del total de las exportaciones de México casi el 80% va a EU (Ruiz, 2015).

Como bien hace referencia Cabrera (2015), existen graves consecuencias en el sector agropecuario, específicamente en los últimos 20 años, el TLCAN, ha acentuado la dependencia desestructuración y descomposición económica. Durante los años noventa y dos mil, algunos países de América Latina han experimentado un crecimiento debido a políticas públicas fuera del esquema neoliberal, renegociando su incorporación

a la economía global y reasignando un papel destacado a su mercado interno y al Estado como mecanismo para una mejor distribución del ingreso. Sus estrategias han sido diversas y han estado confrontadas al contexto político e ideológico en el que se desplazaron los gobiernos neoliberales previos. La mayor resistencia a la estrategia contra-neoliberal está profundamente arraigada en los grupos de poder que se ha beneficiado. En 2012, se emprenden varias reformas como: laboral, fiscal, telecomunicaciones, educativa, política-electoral, y financiera. Estas se centran en legalizar y/o normalizar lo mejor para el Estado, sin embargo, desde hace tiempo en varios ámbitos de la sociedad mexicana; se otorga el poder a grandes corporativos para usufructuar recursos naturales y humanos del país, comprimiendo aún más el mercado interno; además que profundizan y refuncionalizan la estrategia exportadora y dependiente. Lo que acentuará la concentración del ingreso y elevará la pobreza; es poco probable que las utilidades, producto de las reformas, se reinviertan en el país; se seguirán exportando como en el pasado.

Por otra parte, si se toman en consideración los diferentes niveles de productividad en el sector agrícola, así como los granos son la mayor concentración de la producción y de la tierra de riego, se encuentra que el alza de precios de dichos productos favorece más los ingresos de los capitalistas agrícolas que el de los campesinos y ejidatarios, lo que aumenta la concentración del ingreso en el campo. La política económica vigente desatiende los problemas productivos y da privilegio a los mecanismos de mercado para la reestructuración de la economía, da pie a que se desarrollen en su expresión más pura las características y contradicciones del proceso de acumulación de capital. Además, las acciones emprendidas por la política económica actual no están propiciando un crecimiento sectorial más equilibrado, integrado e independiente, tal como pretende el Plan Nacional de Desarrollo, ni se están reforzando complementando las dos líneas de la estrategia de desarrollo trazadas en el sentido de superar los problemas inmediatos, junto con los cambios estructurales para lograr un crecimiento sostenido de la economía (Ruiz, 2015).

La reordenación económica y las perspectivas optimistas sobre el crecimiento no se derivan de los logros alcanzados. Lo que daría viabilidad y permanencia son los

cambios en la estructura de las inversiones. Ello no se está efectuando; las características de funcionamiento del sistema que promueve la política económica, en vez de incrementar y diversificar la capacidad productiva en una perspectiva más integrada internamente -para generar efectos positivos sobre las variables que se quiere influir- está agravando la problemática económica del país. Se ha desencadenado y generalizado una recesión que atenta contra la capacidad productiva (Huerta, 1991).

Cabe señalar, que Hansen (1980) explica como el sector agrícola ha estado íntimamente ligado en el proceso de industrialización, sobre todo en los últimos 20 años ha proporcionado: 1) una mayor producción de combustibles para una población urbana en rápida expansión; 2) una mayor producción de materias primas; 3) la producción de exportaciones para poder financiar la importación de insumos industriales, 4) una creciente oferta de mano de obra para hacer frente a las demandas de los sectores urbano, industrial y de servicios, 5) ahorros para ser usados en inversiones industriales y de infraestructura, y 6) un mercado para los productos del sector industrial. Las fallas de la agricultura, al no poder cumplir varios requisitos, ha servido para explicar las dificultades que afronta el país en la etapa de la industrialización.

La estrategia de austeridad tiene como un eje central elevar la competitividad, mediante la reducción de costos sociales, salariales y condiciones de vida, con el objetivo de impulsar la dinámica exportadora (Cabrera, 2015).

2.3 Producción agrícola a nivel nacional

A nivel mundial, la alimentación enfrente un riesgo fundamental, de la superficie cultivada sólo el 19% tiene infraestructura de riego, sin embargo, produce más del 40% de los cultivos del mundo (FAO, 2013). En el caso de México, se tiene que, en los últimos años, la agricultura ha utilizado mayor cantidad de agroquímicos que han derivado de la contaminación de suelos y acuíferos. La prospectiva es que para el 2050, la agricultura necesitará incrementar su producción 60% a nivel global, y 100% más en países en desarrollo, lo que difícilmente podrá lograrse con las tendencias actuales de crecimiento de uso e ineficiencia. México ocupa el séptimo lugar a nivel mundial en superficie con

infraestructura de riego mientras que en los primeros lugares están India, china y Estados Unidos de América (CONAGUA, 2017).

Al terminar el siglo XVIII, Tomas Malthus hace su primer ensayo sobre demografía, en el cual supone que el hombre de acuerdo a su naturaleza, continuará reproduciéndose de forma geométrica y establece que la alimentación es esencial para el hombre, pero escasa a la vez y su crecimiento es aritmético. En su trabajo Malthus (1789) postula que la capacidad de crecimiento de la población es mayor que la capacidad de la tierra para producir alimentos para el hombre, por tanto, esto implica que la dificultad de la subsistencia ejerce sobre la fuerza del crecimiento de la población una fuerte y constante presión restrictiva. Considerando esto, la población humana no crece de manera exponencial y es improbable que lo haga. Según la FAO, la tasa de producción mundial de alimentos supera la del crecimiento de la población. La producción de cereales es basta por sí sola para alimentar a entre 10.000 y 12.000 millones de personas (Bioetica Press, 2016).

La FAO (2002) proyecta un aumento de la demanda y la producción mundiales de granos de los 1,84 millones de toneladas actuales a 2,8 millones para el año 2030, aunque disminuirá el índice de crecimiento. Para lo cual, observa que la producción de alimentos seguirá aumentando, pero se prevé la disminución del índice de aumento de 2.2 % anual en los tres últimos decenios a un 1.5% anual en el período que va hasta el 2030. Pese a todo, seguirá superando el crecimiento demográfico. Además, se estima que la producción agrícola aumente, por tanto, en los países en desarrollo se incrementarán tanto las importaciones como la producción agrícola. Se prevé una producción agrícola del 70% más elevada en 2030 que hoy en día. Las cuatro quintas partes de este crecimiento se lograrán mediante la intensificación de la producción con cosechas más voluminosas, cultivos múltiples y periodos más breves de barbecho. El resto responderá a la ampliación de la superficie agrícola, sobre todo en América del Sur y el África subsahariana. Se anticipa que la irrigación desempeñe un papel cada vez más importante en los países en desarrollo. Actualmente la producción de regadío se calcula en 40% de la producción agrícola total, pero podría aumentar otros siete puntos porcentuales para el año 2030.

Para cubrir la demanda de alimentos en 2050, la FAO (2017) estima que la agricultura tendrá que producir casi un 50% más de alimentos, forraje y biocombustible de los que producía en 2012. En el África subsahariana y Asia meridional, la producción agrícola debería multiplicarse por más de dos para cubrir la demanda creciente, mientras que en el resto del mundo las previsiones de crecimiento estarían en torno a un tercio por encima de los niveles actuales. Esta valoración tiene en cuenta recientes proyecciones de las Naciones Unidas que indican que la población mundial alcanzará los 9 700 millones de personas para 2050.

La población mundial aumenta a una tasa alarmante. Salvo que la tasa de crecimiento disminuya, el mundo enfrentará problemas sumamente serios. La población mundial era cerca de 250 millones de personas hace 2000 años. Después de tomar 16 siglos para duplicarse a 500 millones, en dos siglos y medio se duplicó para llegar a 1 000 millones en 1850, y nuevamente se duplicó en un siglo para alcanzar 2 000 millones de personas en 1950. Ahora la población del mundo se duplica cada 35 años y en 1990 llegó a 5 000 millones (FAO, 2017). En el caso de México se tiene que el número de habitantes es de 123.5 millones, se considera un problema para abastecerlos de diversos alimentos para desarrollarse en sus diversas actividades diarias (INEGI, 2017).

Si la población sigue en aumento, se debe de elevar la producción agrícola de riego. Por tanto, sólo se puede garantizar si se implementan estrategias de uso racional del recurso agua, como el riego por goteo y nuevos dispositivos de liberación controlada del agua. De esta manera, se pretende fomentar la productividad de los cultivos con medios compatibles con el ambiente y fundamentalmente con el manejo eficiente del recurso hídrico. Por ende, se deben desarrollar nuevas técnicas de cultivo y uso eficiente del agua siendo primordial la innovación tecnológica en la agricultura para aumentar los rendimientos de algunos cultivos con menor cantidad de agua (Norzagaray, García, Llanes, Troyo y Muñoz, 2010).

Para Martínez-Castillo (2009) concibe que la producción agrícola va de la mano con la sostenibilidad de los sistemas se refiere a la capacidad del sistema para mantener su productividad a pesar de las perturbaciones económicas y naturales, externas o

internas. Además, de considerar la cantidad de agua para riego para obtener producción agrícola, la cual es de gran importancia se requiere una auténtica política integrada que haga posible el mejor aprovechamiento de este enorme potencial: formación y reciclaje profesional, mejora de las estructuras productivas, aplicación tecnológica adecuada, sistemas avanzados de comercialización y, en suma, adición de recursos financieros que hagan posible el despegue (Sancho y Muñoz, 1987).

Durante el periodo 2007-2010, se apoyaron 274,805 proyectos con recursos de apoyo a la adquisición de activos productivos, el total de proyectos implementados se distribuyeron en: 55.1% de disponibilidad de alimentos; 33.7% de hogar saludable y 11.2% de generación de ingresos (SAGARPA, 1994). En el 2008, se concluyó la apertura comercial del programa en el TLCAN, que incluyó a los productos más sensibles del campo como el maíz, frijol, leche y el azúcar. Con ello, se ha impulsado una política que desalienta la producción pues el crédito al campo registra su nivel más bajo, ya que mientras en 1996 representaba 4.6% del gasto total del gobierno, para 2007 solamente representa 3.5%. Además, éste se encuentra fuertemente focalizado en estados de alto y mediano desarrollo capitalista (Sinaloa, Sonora, Michoacán y Jalisco), los estados en los que se ubican los pequeños productores son: Oaxaca, Guerrero, Hidalgo, Puebla, Chiapas y San Luis Potosí, absorbieron solamente (Rubio, 2008).

Para 2017, se registraron en México 32 entidades federativas y 1731 municipios, dentro de su territorio destina una gran porción para la cuestión agrícola; se utilizaron 22 585 parcelas, dentro de su superficie sembrada se obtuvo 20.1 millones de hectáreas de maíz; 6.8 millones de hectáreas para frijol, y 1.6 millones de hectáreas, ocupó el 11° lugar en producción mundial de alimentos y en producción mundial de cultivos agrícolas. Además, se destinaron 24.6 millones de hectáreas para la agricultura y se cultivan 21.6 millones de hectáreas (SAGARPA, 2017).

Recientemente, el sector agrícola registra en 2012, la cantidad de 238 millones de toneladas de producción y un valor de 386,729 millones de pesos; en el 2017, se registraron 263 millones de toneladas, con un valor de 468,319 millones de pesos. Se obtuvo un crecimiento de 28 millones de toneladas, y un incremento de 21.1% en su

valor. Con base en información a SAGARPA (2018), México se ubicó entre las primeras diez potencias mundiales en producción de alimentos (Tabla 2-3).

Tabla 2-3 Producción de alimentos en México a nivel mundial

| Lugar | Producto |
|-------|---|
| 1° | Aguacate y de jugo de cítricos concentrado |
| 2° | Harina de maíz, jugo de limón concentrado, sorgo para forraje y semillas de cártamo |
| 3° | Limonos y limas, jugo de naranja, chiles, pimientos y alfalfa |
| 4° | Vegetales congelados |
| 5° | Brócoli, coliflores, huevos de gallina, espárragos y toronjas |

Fuente: SAGARPA, 2018.

En México existen ciertos alimentos que son aquellos considerados como imprescindibles en la dieta diaria por su contenido y aportación de nutrientes: maíz, frijol, trigo y arroz. Principalmente, el maíz y el frijol en México tienen una importancia especial, pues van más allá del aspecto económico y se entrelaza con siglos de cultura a través de los cuales se ha enriquecido la diversidad genética en nuestro país. La producción anual de granos básicos en México se tiene: maíz: 24 millones de toneladas, frijol: 970 mil toneladas, trigo: 4 millones de toneladas, y arroz: 236 millones de toneladas (SAGARPA, 2018). Además, se debe de considerar la población a la cual se va alimentar con la variedad de productos agrícolas.

En Cambreros (2000) se aprecian las tendencias de la población mexicana considerando la demanda de alimentos y su disponibilidad, a fin de evaluar el grado de seguridad alimentaria que ha tenido México, así como las perspectivas para el siglo XXI. Se analiza la importancia de los granos básicos en la alimentación; después se revisan los cambios de la población, la demanda de alimentos y su disponibilidad a el periodo 1940-1990 para evaluar la posición de seguridad alimentaria; elaborar algunos escenarios para el año 2030, basado en la hipótesis de cambios en la población y mejorar en la distribución de alimentos de la FAO. Es un hecho que los habitantes de cada país del mundo apoyan su alimentación en un grano básico, por lo que México no es la excepción, además del maíz, se considera el frijol como básico. Cabe señalar, que existe

una relación estrecha entre la disponibilidad y consumo de los alimentos con el incremento de la población.

Cabe resaltar, que México es un país en vías de desarrollo, posee diferentes tipos de crisis por las que ha pasado a lo largo de la historia, como bien lo comenta Barta (2009), la crisis medio ambiental patente de un cambio climático antropogénico que avanza más rápido de lo que se previó a principios de 2007, crisis energética, evidencia en patrones de consumo insostenibles, crisis alimentaria, manifiesta en hambrunas y carestía causadas por el creciente uso no directamente alimentario de algunas cosechas, crisis migratoria, existen más de 200 millones de personas viviendo fuera de su país natal, crisis bélica prolongadas y crueles guerras; y crisis económica, ligada con la crisis de sobreproducción. Además, la disponibilidad de alimentos (oferta) se define como la cantidad de granos básicos a la cual pueden acceder todos los habitantes de un país; estará constituida por el volumen de producción, más las importaciones y restadas las exportaciones. Así como, el consumo de alimentos (demanda) será el consumo de granos básicos que realice la población; dependerá fundamentalmente del nivel de ingreso y los precios relativos de los alimentos.

En cuanto a la producción agrícola en México, se tiene que se ubica en una posición geográfica privilegiada en comparación con otros países, es un país productivo, el cual lo coloca dentro de los diez primeros lugares a nivel mundial. Además de la ubicación geográfica, el relieve, el suelo, el clima, la disponibilidad de agua son importantes para que un país sea productivo (CONAGUA, 2017). En el territorio mexicano se tienen 3,004,488 de hectáreas son cosechadas para el año agrícola (2015/2016) en el cual se cultiva una gran variedad de productos (Tabla 2-4).

Para obtener la producción de estos granos se consideran varias modalidades, como el año agrícola, este es un periodo que comprende 18 meses que abarca siembras y cosechas que se realizan en los ciclos agrícolas (Otoño-Invierno + Primavera-Verano + Perennes). Existen los cultivos cíclicos, los cuales su periodo vegetativo es menor a 12 meses y requieren de una nueva siembra para la obtención de cosechas. Esta se concentra en dos periodos productivos (Primavera-Verano y Otoño-Invierno).

Finalmente, los cultivos perennes, estos de ciclo largo, cuyo periodo vegetativo se extiende más allá de 12 meses, una vez establecida su plantación, se obtienen varias cosechas (enero-diciembre).

Tabla 2-4 Distribución de la superficie cosechada por grupo de cultivo (año agrícola 2015-2016)

| Grupo | Superficie cosechada (Ha) | Distribución porcentual (%) |
|-----------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Granos | 1,974,092 | 64.84 |
| Forrajes | 369,399 | 12.13 |
| Hortalizas | 206,063 | 6.77 |
| Industriales | 213,459 | 7.01 |
| Frutales | 124,126 | 4.08 |
| Cítricos | 63,538 | 2.09 |
| Textiles | 33,164 | 1.09 |
| Oleaginosas | 45,760 | 1.5 |
| Cultivos Varios | 14,076 | 0.46 |
| Flores | 778 | 0.03 |
| Espicias | 32 | 0.001 |
| Total | 3,044,488 | 100 |

Fuente: CONAGUA (2017)

En el año agrícola 2015/16, según el ciclo agrícola, se consideró importante la tenencia de la tierra y la modalidad de agricultura. El ciclo agrícola principal para la modalidad de riego en los distritos de riego es otoño-invierno, con el 49.2 % de la superficie cosechada. El ciclo principal para la modalidad de temporal es primavera-verano, con el 2.9 % de la superficie total cosechada. Analizando lo anterior, se observa que nuestro país es productivo durante todo el año, a diferencia de otros países (CONAGUA, 2018).

2.4 Exportación e importación de productos agrícolas

Según la FAO, la provisión mundial depende de alrededor de 150 especies de plantas. No obstante, tres cuartas partes del alimento consumido en el mundo se relacionan con 12 cultivos y, de éstos, tres representan la mitad de la ingesta: arroz, trigo y maíz. México es el país con mayor aportación a la reserva de semillas de trigo y maíz con 47 mil y 10 mil variedades, respectivamente. La producción nacional promedio del arroz consta de

285 mil toneladas, se ubica en el lugar 48 a nivel mundial, su representación mundial es de menos de 0.1% y a nivel nacional es de 0.13%. Para el caso del maíz, la producción nacional promedio es de 22 millones 168 mil, tiene el lugar 4 a nivel mundial, su representación mundial es de 2.9%, y nacional de 10.02%; y finalmente para el trigo, su producción nacional promedio es de 3 millones 289 mil, su lugar mundial es 30, en cuanto a su representatividad mundial es de 0.5%, y nacional de 1.49% (SIAP, 2018).

El volumen de producción en cada ciclo agrícola se encuentra determinado por factores como la superficie destinada al cultivo, los rendimientos obtenidos, las expectativas de importaciones y exportaciones en el comercio internacional y los precios en el mercado. De igual manera, el almacenamiento de granos y oleaginosas es determinante tanto en la calidad como en la cantidad ofertada. Siendo considerados granos básicos el maíz, frijol, trigo y arroz; por el contrario, los granos industriales el sorgo, avena y cebada; y las oleaginosas, se tienen el cártamo, girasol, soya y canola (Caballero, 2010).

México dispone de una red de diez acuerdos comerciales con 45 países en diversas regiones del mundo, lo que ha promovido un incremento de las exportaciones e importaciones agroalimentarias. Entre 1994 y 2012 las exportaciones agroalimentarias crecieron a una tasa promedio anual de 9%, mientras que las importaciones aumentaron 8%. En 2012, el comercio agroalimentario de México con el mundo alcanzó 50,579 millones de dólares, 2.8 veces el registrado en 2000. El comercio internacional agroalimentario se integró de 22,805 millones de dólares de exportaciones y de 27,774 millones de dólares de importaciones, por lo que la balanza comercial agroalimentaria fue deficitaria en 4,969 millones de dólares. Las exportaciones y las importaciones agroalimentarias crecieron a tasas anuales de 3.7% y 2.6%, respectivamente. También, se exportaron productos agropecuarios por un monto de 10,914 millones de dólares y productos agroindustriales por un valor superior a los 11,890 millones de dólares, lo que significó crecimientos anuales de 5.9% y 1.7%, respectivamente. Con estas cifras México es el octavo productor mundial de agroalimentos, y las exportaciones agroalimentarias muestran un gran dinamismo con niveles superiores a las remesas y los ingresos por turismo, la producción nacional es insuficiente para abastecer la demanda interna de

algunos alimentos básicos. Así, en 2012 se importó el 79% del consumo doméstico de arroz, 93% de oleaginosas, 58% de trigo y 82% de maíz amarillo para consumo pecuario e industrial (SAGARPA, 2018).

Además, cabe destacar que México figura entre las naciones que más productos de su campo y agua exportan; la variedad y su calidad han constituido para que el país sea una potencia exportadora. Se ubica en el lugar 10 a nivel mundial. En 2017 contribuyó en un 2.1% en el sector agroindustrial con 16,609 millones de dólares (50.9%), agrícola con 14,027 millones de dólares (43.1%), pesquero con 1,017 millones de dólares (3.1%), ganaderos y apícolas con 929 millones de dólares (2.9%). Con estas cifras permitió que el país obtuviera 32 mil 583 millones de dólares en divisas que superan a las registradas por remesas (SAGARPA, 2018).

Analizando esta situación, en el territorio mexicano se importa 42% de los alimentos que consumimos, según informes que se presentan al Congreso de la Unión; la gran inversión en importación de alimentos, al menos 21 millones de mexicanos sufren de pobreza alimentaria. Además, México es deficitario en producción de granos básicos, se importa maíz, frijol, soya, sorgo, trigo, arroz, entre otros. Se estima que nuestro país no ha podido alcanzar suficiencia en la producción de maíz, a pesar de ser el alimento por excelencia de México. Nuestro país pasó de ser un país exportador de maíz, hasta la década de los sesenta del siglo XX, a ser importador neto de no menos de 10 000 toneladas al año. Sin embargo, se importa prácticamente toda la semilla certificada, esquejes, entre otros, que estas se siembran en el país para producir los granos básicos, entre otros. Durante el periodo 2005-2010, las toneladas promedio por año que importamos fueron 36 386 de sorgo, 10, 205 de maíz y 2, 154 de frijol (Larqué, 2013).

2.5 Situación en México por cambio climático

Para nuestro país, se observa a pesar de tener una ubicación geográfica privilegiada, se verá severamente afectado por el cambio climático. Los escenarios para México muestran que: a) la temperatura podría aumentar entre 1.8 y 4°C hacia finales del presente siglo; b) las variaciones en las lluvias serían en promedio de 5%, pero si el

incremento llega entre 10 y 20% y de 1 a 2°C de aumento en la temperatura se reducirá la producción de habas, maíz y arroz cerca del 10%; c) se podría incrementar el nivel medio del mar entre 40 cm y 1.2 m de este siglo (Landa, *et al.*, 2010).

En México, al igual que el mundo entero, enfrenta la necesidad de hacer más sustentable su producción de alimentos. Actualmente, el país destina a la agricultura tres cuartas partes del agua disponible en las regiones donde los productores cuentan con sistemas de riego. La escasez de lluvias y la creciente necesidad de abastecer a las ciudades hace insostenible esta distribución del vital recurso, así como el incremento de la población mexicana se tendrá que duplicar la producción nacional de alimentos para satisfacer la demanda de una población que se duplicará en los últimos 40 años para alcanzar 230 millones de personas en 2050, de acuerdo a las estimaciones del INEGI. A partir de esto, es un reto de elevar la productividad en la agricultura se sume a la adaptación al cambio climático, particularmente, para México los expertos han estimado que los efectos del cambio climático podrían reducir hasta 25% la producción agrícola del país en 2080 (Curiel, 2013).

Los efectos de cambio climático global, para 2030 algunas de las principales cuencas de México registrarán condiciones de elevado estrés hídrico. La condición de escasez hídrica se determina por medio de la disponibilidad per cápita. De esta manera, cuando la disponibilidad es menor a 1700 metro cúbico por habitante por año ($m^3/hab/año$) se estima que existe escasez; cuando es menor a 1000 $m^3/hab/año$ se considera escasez extrema, y cuando es menor a 500 $m^3/hab/año$, se aprecia escasez absoluta. Para México, hacia 2030, se agravará la condición de escasez absoluta que ya padece. Las regiones del río Bravo y la península de Baja California se encontrarán en escasez extrema y la cuenca Lerma-Chapala en condiciones de escasez (menos de 1700 $m^3/hab/año$). Las regiones hidrológicas administrativas Balsas y Cuencas Centrales del Norte se encontrarán próximas a condiciones de escasez que probablemente alcanzarán como resultado del cambio climático (Martínez-Austria, 2013). Con estos y otros estudios recientes estiman que para México a finales de este siglo se reducirá la precipitación en su territorio en alrededor del 15% (Patiño-Gómez, 2011).

En las observaciones climáticas para México se tiene un registro de temperatura media en 1961-1990 fue de 20.66 °C; se estima en un futuro 2070-2099, será de 24.71°C, por ende, se va incrementar. En el caso de la precipitación media, se tiene que 1961-1990, fue de 2.09 mm y en un futuro se estima de 1.84 mm, es decir, la precipitación va descender (Cline, 2007).

De acuerdo a la información anterior, no se tiene un panorama muy favorable, al contrario, se prevé que la temperatura va aumentando y con ello, se altera el ciclo hidrológico, ocasionando cambios en las lluvias, sequías, cambio en climas, entre otros. Además, considerar que en la mayoría del territorio mexicano se registra escasez de agua, así como poca disponibilidad de alimentos, siendo temas que están estrechamente ligados, dependiendo directamente del cambio climático.

En el presente capítulo se realizó una revisión bibliográfica del concepto de seguridad alimentaria y sus dimensiones a nivel global y nacional. Así mismo, como se encuentra el sector, producción y administración agrícola en México. También, conocer los productos de mayor exportación e importación, igualmente, se analizó la situación del territorio mexicano frente al cambio climático, siendo de gran importancia para la seguridad alimentaria e hídrica, que esta última se va tratar en el siguiente apartado.

Capítulo 3 Seguridad hídrica

Es esta sección se abordará el concepto de seguridad hídrica a nivel mundial y para México. Además, se analiza el sector hídrico en nuestro país, desde un derecho hasta como se constituye geográficamente por 13 regiones hidrológicas para la distribución y aprovechamiento de recurso hídrico, siendo la agricultura uno de los principales usos (77%), la cantidad de agua para riego de los productos agrícolas dependen de 13 organismos de cuenca, siendo la CONAGUA (2018), quien se encarga de almacenar y distribuir el agua para sus diversos usos en el país, así como permanecer en contacto y alianza con los diversos organismos operadores de agua de todo el país para asignar tarifas para el aprovechamiento del recurso hídrico. Además, de los niveles de precipitación en el México para la producción agrícola de riego, y su distribución, a través sus distritos de riego (DR), por unidad de riego (UR), y distrito temporal tecnificado (DDT). Finalmente, la afectación por el cambio climático en la disponibilidad del agua en el territorio mexicano.

3.1 Concepto de seguridad hídrica

La Asociación Mundial del Agua (GWP, por sus siglas en inglés), visualiza a este concepto adaptado a cualquier nivel, desde el hogar hasta lo global, haciendo hincapié que cada persona tiene acceso a suficiente agua saludable a un costo asequible, para la higiene y una vida saludable y productiva, asegurando simultáneamente que el ambiente no se exponga en eventos negativos (GWP, 2000). Por su parte, la Declaración Ministerial del Foro Económico Mundial (WEF, por sus siglas en inglés) definió la seguridad hídrica indicando que ella consiste en asegurar que el agua dulce, las zonas costeras y los ecosistemas relacionados se encuentren protegidos y mejorados, que se promueva el desarrollo sostenible, así mismo la estabilidad política, que cada persona tenga acceso a suficiente agua potable y a un costo asequible para permitir una vida saludable y productiva, además que la población vulnerable esté protegida de los riesgos asociados al agua. Así mismo, este Foro consideró a la seguridad hídrica como la red que conecta todos los grandes desafíos (alimentación, energía, cambio climático y

desarrollo económico, entre otros) que debe enfrentar la humanidad en las próximas décadas (WEF, 2009).

En cambio, Jiménez-Cisneros (2015), visualiza a la seguridad hídrica como la capacidad de una población para salvaguardar a nivel de cuenca el acceso al agua en cantidades adecuadas con la calidad apropiada para sostener la salud de la gente y de los ecosistemas, así como para asegurar la protección eficaz de vidas y bienes durante desastres hídricos (inundaciones, deslizamientos y hundimientos de terreno y sequías). Como miembro de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) del Programa Hidrológico Internacional (PHI) perteneciente a las Naciones Unidas tiene la encomienda de promover la ciencia, la innovación y el desarrollo de las capacidades institucionales y humanas en la hidrología. Para ello, a) moviliza redes científicas, así como de innovación; b) fortalece la interface entre científicos y tomadores de decisiones, y c) desarrolla capacidades institucional y humana.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2013), menciona que al tener una seguridad hídrica se puede lograr una vida mejor lograr seguridad hídrica significa mantener en niveles aceptables cuatro tipos de riesgos asociados al agua:

- Riesgo de escasez (incluyendo sequías): la falta de agua suficiente para satisfacer la demanda (tanto en a corto y largo plazo) para usos beneficiosos por parte de todos los usuarios del agua (hogares, empresas y el medio ambiente);
- riesgo de calidad inadecuada: la falta de agua de calidad adecuada para un propósito o uso determinado;
- riesgo de exceso (incluyendo inundaciones): desbordamiento de los sistemas de agua (natural o construido), o la acumulación destructiva de agua sobre las áreas que normalmente no permanecen inundadas; y
- riesgo de afectar la resiliencia (o capacidad de recuperación) de sistemas de agua dulce: superando la capacidad de las aguas superficiales y

subterráneas y sus interacciones; superando sus umbrales y causando daños irreversibles en las funciones hidráulicas y biológicas del sistema.

La aplicación del concepto de seguridad hídrica en distintas regiones del mundo muestra que se trata de una aproximación que ha sido motivo de interpretaciones diversas. De este modo, para su eventual uso en América Latina y el Caribe surge la necesidad de efectuar una revisión de las definiciones utilizadas, además de hacer un análisis de su adecuación a la naturaleza de los problemas relativos al agua. En este caso, Peña (2016) propuso algunos puntos importantes para mejorar la problemática con el tema del agua, los cuales consisten en tener:

- Una disponibilidad de agua que sea adecuada, en cantidad y calidad, para el abastecimiento humano, los usos de subsistencia, la protección de los ecosistemas y la producción.
- La capacidad —institucional, financiera y de infraestructura— para acceder y aprovechar dichos recursos de forma sustentable y manejar las interrelaciones y externalidades entre los diferentes usos y sectores, de manera coherente; y
- Un nivel aceptable de riesgos para la población, el medio ambiente y la economía, asociados a los recursos hídricos.

Para el caso de México, el concepto de seguridad hídrica surge en los años ochenta, a partir del II Foro Mundial del Agua en La Haya, donde existen instancias encargadas de la seguridad hídrica como el Instituto de Ingeniería (IIUNAM) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), además del Centro Categoría 2 de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Para Martínez-Austria (2013) describe a la seguridad hídrica como asegurar el abastecimiento sustentable de agua para todos los usos, en condiciones de equidad y a precios asequibles, para promover la salud, el desarrollo económico, la producción de alimentos y energía y la conservación del medio ambiente. Además, analiza una serie de retos para la seguridad hídrica (Figura 3-1).

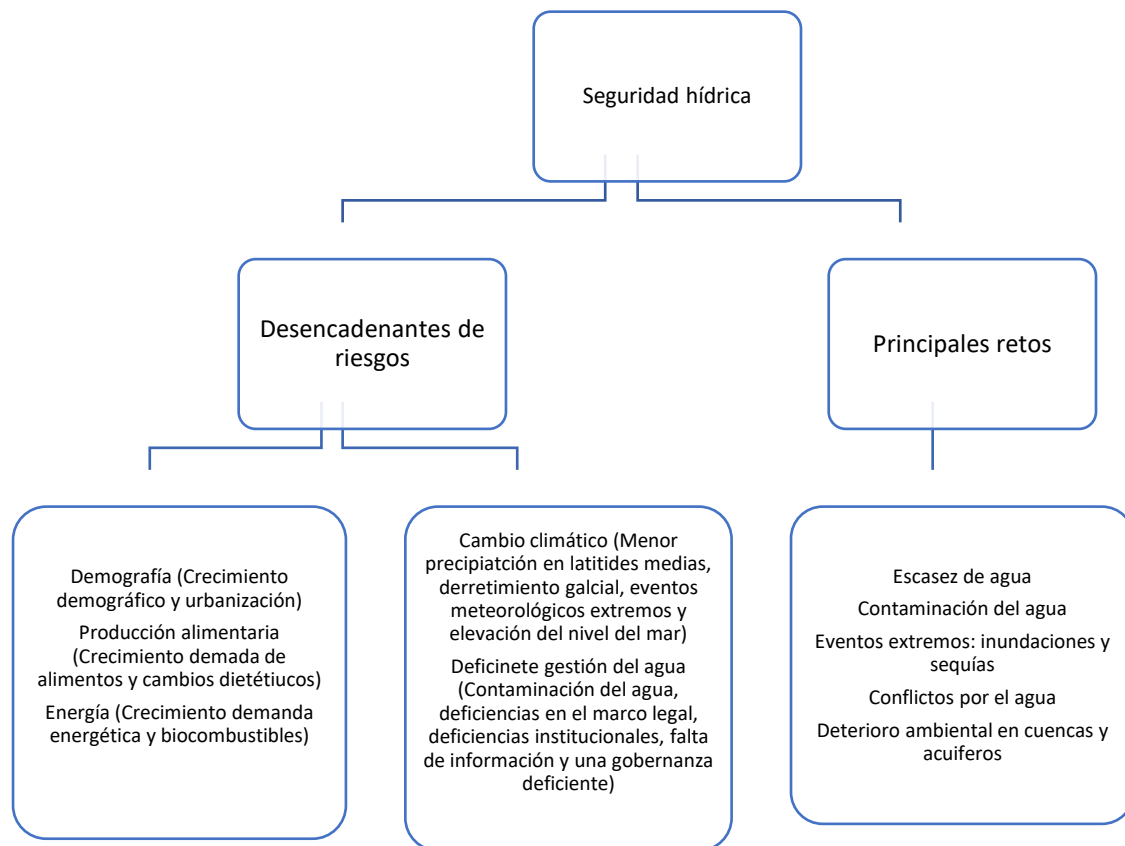


Figura 3-1 Principales retos de la seguridad hídrica y factores desencadenantes

Fuente: Elaboración propia con base en Martínez-Austria (2013)

En el caso del IMTA lo concibe como la capacidad de una sociedad para disponer de agua en cantidad adecuada y calidad aceptable para su supervivencia y la de todos los seres vivos en los ecosistemas en que habitan, así como para asegurar su desarrollo socioeconómico sostenible, gestionando los riesgos climáticos, meteorológicos y antrópicos relacionados con el agua, en un clima de paz a través de una buena gobernanza. Además, de implementar un programa de Seguridad Hídrica que facilite su inserción en las políticas públicas del país en el ámbito nacional, estatal y municipal, tener un marco de referencia amplio y multidimensional y generar criterios que consideren un análisis de riesgos y escenarios futuros con un amplio grado de incertidumbre (Arreguín, 2018). El Centro de Categoría 2 se tratan temas de desafíos locales, regionales y globales (UNESCO, 2013), como:

- Desastres hídricos y cambios hidrológicos
- Agua subterránea en un ambiente variable
- Manejo de la cantidad y calidad del agua
- Agua para los asentamientos humanos del futuro
- Ecohidrología e ingeniería para un mundo sostenible
- Educación del agua-clave para la seguridad hídrica

Considerando estas definiciones y desafíos, se da prioridad atender tres elementos: a) garantizar agua de calidad para el uso humano y para el ambiente; b) manejar los riesgos asociados al recurso hídrico; y c) el desarrollo de capacidades humanas e institucionales (González-Villarreal y Domínguez-Mares, 2017).



Figura 3-2 Ciclo hidrológico

Fuente: CONAGUA (2017)

Por su parte, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2017), es quien se encarga de la gestión, cantidad y calidad de este vital líquido. Además, de los organismos operadores de agua potable a nivel nacional, encargados de potabilizar y/o purificar el recurso hídrico para distribuirlo a través de redes a los hogares mexicanos, los cuales

también están en sintonía en gestionar y regular las plantas tratadoras de aguas residuales; esto con la finalidad de enfocarse en la sustentabilidad, gestión y evitar escasez del agua. Para cumplir con una seguridad hídrica es importante considerar que se depende primordialmente del ciclo hidrológico (Figura 3-2).

Se denomina ciclo hidrológico al movimiento general del agua: ascendente por evaporación y descendente por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea. Resaltando dos aspectos importantes: a) la escorrentía subterránea es mucho más lenta que la superficial y esta lentitud le confiere al ciclo ciertas características fundamentales, tales como, que los ríos continúen con caudal mucho tiempo después de las últimas precipitaciones, y b) las aguas subterráneas no son más que una de las fases o etapas del ciclo del agua, y el desconocimiento de esta condición puede provocar que se exploten como si no tuvieran relación con las precipitaciones o la escorrentía superficial, con los consecuentes resultados (Cotler, Mazari y De Anda, 2006, p.16).

En el ciclo hidrológico, una proporción importante de la precipitación pluvial regresa a la atmósfera en forma de evapotranspiración, mientras que el resto escurre por corrientes y cuerpos de agua siguiendo la conformación del terreno, constituyendo las aguas superficiales; o bien se infiltra al subsuelo como agua subterránea. Las cuencas son unidades naturales del terreno, definidas por la existencia de una división de las aguas superficiales debida a la conformación del relieve (CONAGUA, 2017). Para cubrir la demanda del agua en todos sus diversos usos, se depende primordialmente del ciclo hidrológico, el cual funge de vital importancia a nivel global, y para México no es la excepción, al pasar por sus diversos pasos el agua, esta debe de ser accesible.

3.2 Sector hídrico en México

Para México en 2012, se modificó el artículo 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, para incluir al agua entre los derechos humanos. Esta modificación obligará a revisar y adecuar los artículos 27, 73 y 115, así como actualizar las entidades gubernamentales que administran el agua en el país de manera más racional. La

encomienda del Estado mexicano es garantizar el derecho al agua en el país, al menos en el papel, pues está sujeto a diversos estatutos internacionales de la ONU, y en su misma legislación, en el artículo 4 de la Constitución mexicana, establece en su párrafo sexto el derecho al agua potable, que toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible, así como, garantizar este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines (DOF, 2012).

Por otra parte, en el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos se asientan las bases del tratamiento de recursos nacionales como son la tierra y el agua, sus usos y aprovechamientos por medio de concesiones. En sus fracciones VII y XX, este artículo reconoce a la personalidad jurídica de los núcleos de población ejidales y comunales, así mismo se protege su propiedad sobre la tierra, tanto para el asentamiento humano como para actividades productivas; además, asienta que el Estado promoverá las condiciones para el desarrollo rural integral, a fin de generar empleo y garantizar a los campesinos el bienestar y su participación e incorporación en el desarrollo nacional, con lo que se fomentará a la actividad agropecuaria y forestal para el óptimo uso de la tierra, con obras de infraestructura, insumos, créditos, servicios de capacitación y asistencia técnica. Se hace hincapié en el desarrollo rural integral y sustentable, también el Estado debe garantizar el abasto suficiente y oportuno de los alimentos básicos que la ley establezca como un derecho (DOF, 2012).

Por su parte, la Ley de Aguas Nacionales (LAN), establece que la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales se realizará mediante títulos de concesión o asignación otorgados por el Ejecutivo Federal a través de la CONAGUA (2017), de acuerdo con las reglas y condiciones que dispone la LAN y su reglamento. Un título de concesión o asignación puede amparar uno o más aprovechamientos o permisos. El uso agrupado agrícola corresponde a los rubros: agrícola, pecuario, acuacultura, múltiples y otros de la clasificación del REPDA (Registro Público de Derechos de Agua);

abastecimiento público incluye: público urbano y doméstico; industria autoabastecida son los rubros industria, agroindustria, servicios y comercio.

En 1989, se crea la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), como un órgano administrativo, normativo, técnico, consultivo y desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). La CONAGUA trabaja en conjunto con diversas instancias en el ámbito federal, estatal y municipal; asociaciones de usuarios y empresas; instituciones del sector privado y social, así como, organizaciones internacionales en el ámbito hídrico. Las personas físicas y morales están obligadas al pago del derecho sobre las aguas nacionales que usen, exploten o aprovechen, bien sea de hecho o al amparo de títulos de asignación, concesión, autorización o permiso otorgados por el Gobierno Federal (CONAGUA, 2017).

Para fines de administración y preservación de las aguas nacionales, a partir de 1997 el país se ha dividido en trece RHA, las cuales están formadas por agrupaciones de cuencas, consideradas las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos. Los límites de las RHA respetan los municipales para facilitar la integración de la información socioeconómica. La CONAGUA es un órgano administrativo, normativo, técnico y consultivo encargado de la gestión del agua en México, desempeña sus funciones a través de trece organismos de cuenca, cuyo ámbito de competencia son las RHA (CONAGUA, 2016).

CONAGUA (2018) ha definido 757 cuencas hidrológicas en el territorio mexicano, de las cuales 649 se encontraban en situación de disponibilidad, es decir, el 86%; estas cuencas se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas, donde estas a su vez se agrupan en las 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA). En lo que se refiere a las aguas subterráneas, el país está dividido en 653 acuíferos; en cuanto al agua superficial, los ríos y arroyos del país constituyen una red hidrográfica de 633 mil kilómetros de longitud, en la que destacan 51 ríos principales por los que fluye el 87% del escurrimiento superficial del país y cuyas cuencas cubren el 65% de la superficie territorial continental del país.

Por su superficie en México destacan las cuencas de los ríos Bravo y Balsas, y por longitud destacan los ríos Bravo y Grijalva-Usumacinta. Nuestro país comparte ocho cuencas con los países vecinos: tres con los Estados Unidos de América (Bravo, Colorado y Tijuana), cuatro con Guatemala (Grijalva-Usumacinta, Suchiate, Coatán y Candelaria) y una con Belice y Guatemala (Río Hondo). Las aguas de los ríos Colorado, Tijuana y Bravo se comparten entre México y los Estados Unidos de América conforme a lo indicado en el “Tratado de Aguas”, firmado en Washington, D. C. el 3 de febrero de 1944. Para el caso específico del río Colorado, el tratado especifica que los Estados Unidos de América deberán entregar anualmente a México 1850.2 millones de metros cúbicos (1.5 millones de acres-pies por año). En cuanto a lagos, México cuenta con el lago de Chapala, es el más grande, con 1116 km² de extensión, Cuitzeo con 306 km², Pátzcuaro, 67 km², Yuriria 80 km², Catemaco 75 km², Dr. Nabor Carrillo 10 km², Tequesquitengo 8 km². Para las aguas subterráneas en el territorio mexicano existen 653 acuíferos, estas desempeñan un papel de creciente importancia en el crecimiento socioeconómico del país, gracias a sus características físicas que les permiten ser aprovechadas de manera versátil, pues funcionan como presas de almacenamiento y red de distribución, siendo posible extraer agua en cualquier época del año de prácticamente cualquier punto de la superficie del acuífero. Para 2016, se reportan 105 acuíferos sobreexplotados (CONAGUA, 2017).

Para el aspecto institucional, se tienen instancias enfocadas a la cuestión del agua como es el caso de CONAGUA, SEMARNAT, además del apoyo del tema legislativo con la LAN y el Programa Nacional Hídrico (PNH), se requiere un proceso de reformas que complemente las técnicas hidráulicas predominantemente técnicas; así como, hacer más eficiente el proceso de gestión integrada del agua a través de la incorporación de propuestas desarrolladas bajo un marco social y ambiental. El aspecto ambiental, la mayoría de las actividades humanas están condicionadas con el uso de este bien, así como los sistemas ecológicos, que lo necesitan para estar en equilibrio; por lo tanto, la importancia de la gestión del agua debe llevarse a cabo para satisfacer las necesidades humanas y naturales, además para garantizar su sostenibilidad en el tiempo; donde esta

gestión se lleve de manera integrada en términos de relaciones de intercambio entre los grupos con el entorno natural desde una perspectiva histórica para diseñar (Guerrero, 2019).

3.3 Distribución del agua a nivel nacional

El agua es empleada de diversas formas en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o producir e intercambiar bienes y servicios. En México, el recurso hídrico se distribuye de la siguiente manera: 76.3% para uso agrícola, abastecimiento público 14.5%, energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad 4.8%, e industria autoabastecida 4.4%. El servicio de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales está a cargo de los municipios, generalmente a través de organismos operadores a nivel nacional (CONAGUA, 2017).

En CONAGUA (2018), a través del REPDA, se registran los volúmenes concesionados o asignados a los usuarios de aguas nacionales. Este registro tiene clasificados los usos del agua en diversos rubros. Se tiene el uso agrupado, y el uso no consuntivo de conservación. El 60.9% del agua utilizada para uso consuntivo proviene de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos), y el 39.1% restante corresponde a fuentes subterráneas (acuíferos). Los usos agrupados agrícola y abastecimiento público representaban el 90.8% del volumen concesionado a escala nacional. En el caso de las centrales hidroeléctricas, que representan un uso no consuntivo del recurso, se utilizaron en el país 125, 623 hectómetros cúbicos de agua. Los ríos y arroyos del país constituyen una red hidrográfica de 633 mil kilómetros de longitud, en la que destacan 51 ríos principales por los que fluye el 87% del escurrimiento superficial del país y cuyas cuencas cubren el 65% de la superficie territorial continental del país. Por su superficie destacan las cuencas de los ríos Bravo y Balsas, y por longitud destacan los ríos Bravo y Grijalva-Usumacinta. Los ríos Lerma y Nazas-Aguanaval pertenecen a la vertiente interior.

En CONAGUA (2018), se tiene clasificado a México en 13 Regiones Hidrológicas-Administrativas (RHA) como se puede apreciar en la Tabla 3-1; estas regiones están formadas por agrupaciones de cuencas, consideradas básicas para la gestión y

concesión de los recursos hídricos. Los organismos de cuenca (OC), los cuales son las mismas 13 (RHA), se basa en la disponibilidad del recurso hídrico, consideradas para la distribución y de riego para cultivos perennes.

Tabla 3-1 Regiones Hidrológicas Administrativas (RHA) en México

| No. | Regiones Hidrológicas-Administrativas (RHA) |
|-----|---|
| 1 | Península de Baja California |
| 2 | Noroeste |
| 3 | Pacífico Norte |
| 4 | Balsas |
| 5 | Pacífico Sur |
| 6 | Río Bravo |
| 7 | Cuencas Centrales Norte |
| 8 | Lerma-Santiago-Pacífico |
| 9 | Golfo Norte |
| 10 | Golfo Centro |
| 11 | Frontera Sur |
| 12 | Península de Yucatán |
| 13 | Valle de México |

Fuente: CONAGUA, 2018.

Para que estas cuencas cuenten con la disponibilidad de agua, depende en gran medida del clima y la precipitación, así como el relieve del territorio, por ende, México no es la excepción, nuestro país cuenta con una gran diversidad de climas, los cuales pueden clasificarse, según su temperatura, en cálido y templado. De acuerdo con la humedad, en húmedo, subhúmedo y muy seco. De este modo, teniendo en cuenta precipitaciones y temperaturas (Figura 3 3).

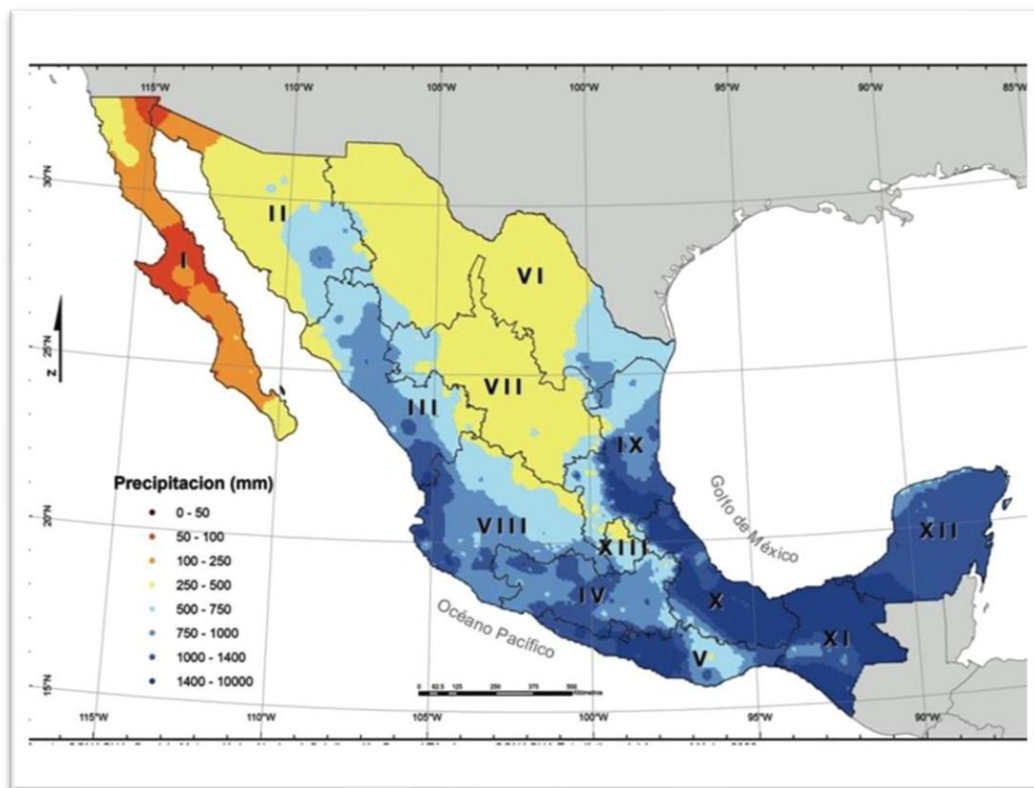


Figura 3-3 Precipitaciones anuales de México

Fuente: INEGI, 2016.

México es un país muy diverso por su ubicación geográfica en flora y fauna, suelos, disponibilidad de agua, entre otros, por lo cual, el clima no es la excepción. Primeramente, en la parte norte del país se tiene un clima seco y muy seco, el clima seco se encuentra en la mayor parte del centro y norte del país, región que comprende el 28.3% del territorio nacional. Los climas secos se caracterizan por la circulación de los vientos, que provocan escasa nubosidad y precipitaciones de 300 a 600 mm anuales, con temperaturas en promedio de 22° a 26° C, en unas regiones y de entre 18° a 22° C, en otras. El clima muy seco registra temperaturas promedio de 18° a 22° C, con casos extremos de más de 26°C; presentando precipitaciones anuales de 100 a 300 mm en promedio, se encuentra en el 20.8% de México. Posteriormente, la parte centro del país predomina el clima cálido, se subdivide en cálido húmedo y cálido subhúmedo. Para el primero, ocupa el 4.7% del territorio nacional y se caracteriza por tener una temperatura media anual entre 22° y 26°C. Las precipitaciones de están entre 2.000 a 4.000 mm

anuales. En el caso del clima cálido subhúmedo se encuentra en el 23% del país. En esta zona se registran precipitaciones entre 1,000 y 2,000 mm anuales, con temperaturas que oscilan de 22° y 26°, si bien en algunas zonas puede llegar a superar los 26°C. Finalmente, la parte sur del país predomina el clima templado se divide en húmedo y subhúmedo. En el primero de ellos se registran temperaturas entre 18° y 22°C y precipitaciones en promedio de 2,000 a 4,000 mm anuales; comprende el 2.7% del territorio nacional. En cuanto, al clima templado subhúmedo, se encuentra en el 20.5% del país. Observa en su mayoría temperaturas entre 10° y 18° C y de 18° a 22°C, sin embargo, en algunas regiones puede disminuir a menos de 10°C; registra precipitaciones de 600 a 1,000 mm en promedio durante el año (INEGI, 2016).

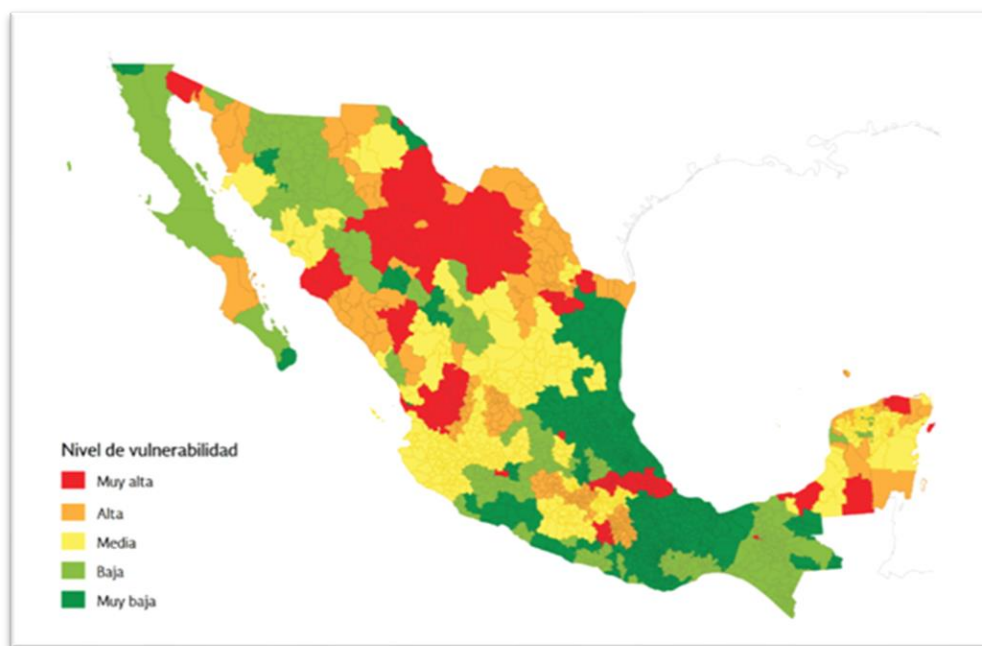


Figura 3-4 Zonas más vulnerables a la sequía en México

Fuente: CONAGUA (2016).

En cuanto a las temperaturas, el territorio mexicano se comporta de una manera muy variada, al norte del trópico de Cáncer, la temperatura aumenta sustancialmente con respecto al sur. En concreto, son mayores en la parte norte central del altiplano mexicano, allí las temperaturas son extremas. Las temperaturas más altas en de México, con 43° C, ocurren en julio y agosto en el centro de Baja California y en los desiertos del norte de Sonora y Chihuahuense. Fuera de las áreas montañosas altas del norte de

México y el norte de altiplano mexicano, las temperaturas más bajas normalmente no descienden por debajo de los 0° C (INEGI, 2016). Considerando las precipitaciones y temperaturas del país, existe una gran vulnerabilidad, sobre todo, por las elevadas temperaturas en la parte norte y poca disponibilidad del recurso hídrico (Figura 3-4).

La CONAGUA (2018) ha concesionado en el país los volúmenes de agua para usos agrupados consuntivos y por fuente de extracción, respectivamente. Las regiones hidrológico- administrativas (RHA) que tienen concesionado un mayor volumen de agua son: VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IV Balsas, III Pacífico Norte y VI Río Bravo. Una vez que estas regiones abastecen de agua a las superficies cosechadas se convierten en organismos de cuenca siguiendo la misma nomenclatura de las regiones hidrológicas administrativas.

El INEGI (2016), muestra en sus estadísticas que en la parte Norte del país existe menor agua disponible, así como mayor población y mayor aportación al PIB; en cambio, en la parte Sur hay mayor agua disponible, menor población y menor aportación al PIB. Además, dos terceras partes del territorio se consideran áridas o semiáridas, con precipitaciones anuales menores a los 500 mm, mientras que una tercera parte, el sureste, es húmedo, con precipitaciones anuales que superan los 2,000 mm por año. En la mayor parte del territorio la lluvia es más intensa en verano, principalmente de tipo torrencial. A partir de 2016, México está conformado por 31 estados y la Ciudad de México, que a su vez se constituyen por 2,442 municipios y 16 delegaciones, respectivamente.

3.4 Administración del agua en México

El mayor uso del agua en México es agrícola, donde la superficie en unidades agrícolas de producción fue de 30.2 millones de hectáreas, siendo en su mayoría de riego y el resto tenían régimen de temporal. La superficie sembrada anualmente (considerando el año agrícola y los cultivos perennes, en régimen de riego y temporal) ha variado entre 21.4 y 21.9 millones de hectáreas durante el periodo 2006- 2016 (SIAP, 2017).

Es importante considerar, que la infraestructura es importante, la cual permite el riego de diversos productos agrícolas, el cual es de aproximadamente 6.5 millones de hectáreas, de las cuales 3.3 millones corresponden a 86 distritos de riego (DR) y los 3.2 millones restantes a más de 40 mil unidades de riego (UR). Los DR son proyectos de irrigación desarrollados por el Gobierno Federal desde 1926, año de creación de la Comisión Nacional de Irrigación, e incluyen diversas obras, tales como vasos de almacenamiento, derivaciones directas, plantas de bombeo, pozos, canales y caminos, entre otros. A la fecha existen 86 DR, en el distrito de riego se incluye una estimación de la productividad económica medida en pesos por metro cúbico: es el valor de la producción agrícola dividido entre el volumen de agua empleada en el riego. El agua empleada en los DR se aprovecha por gravedad o por bombeo, la fuente superficial puede ser una presa, derivación o bombeo directo de la corriente; en tanto que la fuente subterránea se aprovecha a través del bombeo de pozos. La productividad física del agua en los DR mide la relación entre la producción agrícola y el agua distribuida en los distritos de riego, con el propósito de incidir en el mejoramiento de la eficiencia en el uso del recurso hídrico. Este indicador clave evalúa la eficiencia de un metro cúbico de agua extraída de las fuentes de abastecimiento en la producción agrícola bajo riego; se expresa en kilogramos por metro cúbico de agua y toma en cuenta la producción de alrededor de 160 cultivos cíclicos y perennes en los distritos de riego, siendo los más representativos el maíz, trigo, sorgo, alfalfa, caña de azúcar y frijol (CONAGUA, 2018).

El distrito de riego (DR) se define como un área geográfica donde se proporciona el servicio de riego mediante obras de infraestructura hidroagrícola. Los DR consideraron la tecnología prevaleciente en la época de su diseño para la aplicación del agua por gravedad en las parcelas, en ocasiones sólo se construyeron las redes de canales y drenes principales, quedando las obras parcelarias a cargo de los usuarios. Cabe destacar, que el rendimiento de la superficie bajo régimen de irrigación es superior al correspondiente a la agricultura de temporal. La productividad física del agua en los DR mide la relación entre la producción agrícola y el agua distribuida en los distritos de riego, con el propósito de incidir en el mejoramiento de la eficiencia en el uso del recurso hídrico. Este indicador clave evalúa la eficiencia de un metro cúbico de agua extraída de las fuentes de abastecimiento en la producción agrícola bajo riego; se expresa en

kilogramos por metro cúbico de agua y toma en cuenta la producción de alrededor de 160 cultivos cíclicos y perennes en los distritos de riego, siendo los más representativos el maíz, trigo, sorgo y frijol. Cabe señalar, que el rendimiento de la superficie bajo régimen de irrigación es superior a la agricultura de temporal (INEGI, 2016).



Figura 3-5 Regiones Hidrológicas Administrativas en México

Fuente: CONAGUA (2007).

Una vez que el agua se utiliza para riego de producción agrícola en el país, el territorio mexicano, se reconocen 13 regiones hidrológicas administrativas que son asignadas como organismos de cuenca (Figura 3-5).

Para el caso de las unidad de riego (UR) se definen como un área agrícola que cuenta con infraestructura y sistemas de riego, distinta de un distrito de riego (DR) y comúnmente de menor superficie; puede integrarse por asociaciones de usuarios u otras figuras de productores organizados que se asocian entre sí, libremente, para prestar el

servicio de riego con sistemas de gestión autónoma y operar las obras de infraestructura hidráulica para la captación, derivación, conducción, regulación, distribución y desalojo de las aguas nacionales destinadas al riego agrícola. El rendimiento en toneladas por hectárea de la superficie bajo riego es de 2.2. a 3.3 veces mayor que la superficie en régimen de temporal. En 2016, la superficie sembrada bajo riego en México fue de 6.05 millones de hectáreas, de las cuales un poco más de la mitad se ubican en 86 distritos de riego, y el restante en más de 40 mil unidades de riego (INEGI, 2016).

En las planicies tropicales y subtropicales del país, en donde existe un exceso de humedad y constantes inundaciones, el Gobierno Federal constituyó los distritos de temporal tecnificado (DTT), en los que se construyeron obras hidráulicas para el desalojo de los excedentes de agua. El DTT es un área geográfica destinada a las actividades agrícolas que no cuenta con infraestructura de riego, en la cual, mediante el uso de diversas técnicas y obras, se aminoran los daños a la producción por causa de lluvias fuertes y prolongadas o en condiciones de escasez (CONAGUA, 2016).

El rendimiento en toneladas por hectárea de la superficie bajo riego es de 2.2 a 3.3 veces mayor que la superficie en régimen de temporal. Para 2016, la superficie sembrada bajo riego en México fue de 6.05 millones de hectáreas, de las cuales un poco más de la mitad se ubican en 86 distritos de riego, y el restante en más de 40 mil unidades de riego. También, se reportó el rendimiento de los cultivos de riego, medido en ton/ha, fue de 1.9 a 3.4 veces mayor que el de los cultivos de temporal para los principales cultivos (sorgo grano, frijol y maíz grano) por superficie cosechada (SIAP, 2016).

La mayoría del agua superficial es utilizada para riego, pero el agua de origen subterráneo aporta un 36.0% del agua concesionada para uso agrícola, el volumen de agua subterránea concesionada para este uso agrupado es 18.5% (CONAGUA, 2018). El uso agrupado para abastecimiento público consiste en el agua entregada por las redes de agua potable, las cuales abastecen a los usuarios domésticos (domicilios), así como a diversas industrias y servicios.

Para nuestro país, la agricultura de riego es la actividad productiva que más consume agua superficial y subterránea (alrededor del 80%). Aunque, algunas áreas con

sistemas de riego ya están usando técnicas eficientes en el uso del vital líquido, el cambio ha sido limitado. En este tipo de agricultura la sustitución de cultivos hacia los menos intensivos en el uso del recurso no se ha dado por varias razones (Guerrero-García-Rojas, Yúñez-Naude y Medellín-Azuara, 2002).

En el país se han concesionado los volúmenes de agua para usos agrupados consuntivos y por fuente de extracción, respectivamente. Las regiones hidrológico-administrativas (RHA) que tienen concesionado un mayor volumen de agua son: VIII Lerma-Santiago-Pacífico, seguido de las regiones IV Balsas, III Pacífico Norte y finalmente la región VI Río Bravo. Cabe destacar que el uso agrupado agrícola supera el 80% de las concesiones totales en dichas RHA, a excepción de la región IV Balsas, donde la termoeléctrica de Petacalco, ubicada cerca de la desembocadura del río Balsas, ocupa un importante volumen de agua. En el caso particular de la cuenca VIII Lerma-Santiago-Pacífico se tiene un volumen concesionado de 15,852 hectómetros cúbicos. Alrededor del 90% del volumen de agua concesionado a escala nacional lo representan los usos agrícolas y abastecimiento público. Cabe señalar que nuestro país cuenta con 1.959 millones de km² de superficie continental. Además, la parte norte de México presenta la menor cantidad de agua disponible, mayor número de población y la mayor aportación al PIB nacional; en cambio, la parte sur presenta la mayor cantidad de recurso hídrico disponible, el menor número de población, así como la menor aportación al PIB (CONAGUA, 2017).

En el caso de la industria, el agua que requiere se toma directamente de los ríos, arroyos, lagos o acuíferos del país. En cuanto al uso de las centrales de vapor duales, carboeléctricas, de ciclo combinado, de turbogás y de combustión interna, el agua es el principal recurso que incluye tecnologías renovables (eólica, solar, fotovoltaica y geotérmica). Se excluye la hidroelectricidad, la cual representa un uso no consuntivo del recurso hídrico. Para el uso hidroeléctrico, en el 2016 las plantas hidroeléctricas emplearon un volumen de agua de 125 623 hm³. A escala nacional, las RHA correspondiente a XI Frontera Sur y IV Balsas tienen la concesión de agua más importante en este uso, ya que en ellas se localizan los ríos más caudalosos y las centrales hidroeléctricas más grandes del país (CONAGUA, 2018).

La actividad industrial en México se divide en 8 sectores más representativos (acero, alimentos, azúcar, bebidas, papel, química, textil y minería) en términos de demanda y aprovechamiento de los recursos hídricos en sus procesos de producción, además la industria es uno de los principales sectores responsables de la mayoría de los contaminantes, ya que menos del 25% del agua residual que se vierte a los ríos y lagos es tratada. Existen 13 regiones hidrológicas-administrativas en el país; la región 6 (Río Bravo) es quien tiene mayor volumen de agua concesionado (24%) del total; seguida por la región 13 (Aguas del Valle de México) con un 21%; y en tercer lugar la región 1 (Península de Baja California), la parte norte y centro del país requieren mayor volumen de agua concesionada (Vega, Guerrero y Villalpando, 2004).

Además, se realizó un estudio para conocer la elasticidad de las industrias en México, en la parte norte del país (región 1) el costo del agua es elevado por ser un terreno árido y desértico; seguido de la parte centro (región 13) por existir una gran demanda de zona industrial y finalmente la parte sur (región 10), la cual presenta poca industria, a pesar de tener más acceso al recurso hídrico (Guerrero, 2005).

El volumen de agua superficial y subterránea potencialmente aprovechable con respecto al total de la población es lo que se llama disponibilidad. La vulnerabilidad se mide por los niveles de disponibilidad per cápita. A partir de esta información se puede identificar que existen 6 regiones hidrológicas que se encuentran en una situación realmente crítica: la Península de Baja California, Balsas, Río Bravo, Cuencas Centrales del Norte, Lerma-Santiago-Pacífico y Valle de México. Además, existe una relación entre la disponibilidad de agua superficial y subterránea con respecto a los diferentes usos humano, agrícola e industrial, es lo que se conoce como presión o estrés hídrico. Para 2016 se reportan 105 acuíferos sobreexplotados, de acuerdo con los resultados de los estudios recientes, se define si los acuíferos se convierten en sobreexplotados o deja de serlo, en función de la relación extracción/recarga (Tabla 3-2). El reportaje que representa el agua empleada en usos consuntivos respecto al agua renovable es un indicador del grado de presión que se ejerce sobre el recurso hídrico de un país, cuenca o región. El grado de presión puede ser muy alto, alto, medio, bajo y sin estrés. Se considera que si el porcentaje es mayor a 40% se ejerce un grado de presión alto o muy alto. México

experimenta un grado de presión del 19.2% lo cual se considera un nivel bajo; sin embargo, las zonas centro, norte y noroeste del país experimentan un alto grado de presión (CONAGUA, 2017).

Tabla 3-2 Acuíferos de México, 2016

| No. RHA | Total | Sobreexplotado | Recarga media (hm ³) |
|--------------|------------|----------------|----------------------------------|
| I | 88 | 14 | 1,658 |
| II | 62 | 10 | 3,207 |
| III | 24 | 2 | 3,076 |
| IV | 45 | 1 | 4,873 |
| V | 36 | | 1,936 |
| VI | 102 | 18 | 5,935 |
| VII | 65 | 23 | 2,376 |
| VIII | 128 | 32 | 9,656 |
| IX | 40 | 1 | 4,108 |
| X | 22 | | 4,599 |
| XI | 23 | | 22,718 |
| XII | 4 | | 25,316 |
| XIII | 14 | 4 | 2,330 |
| Total | 653 | 105 | 91,788 |

Fuente: CONAGUA (2016).

En un estudio realizado a nivel nacional en el año 2000, mostró que las regiones más críticas del país fueron la Península de Baja California, Noroeste, Río Bravo, Cuencas Centrales del Norte, y Valle de México (Ávila, 2008). Actualmente, el territorio mexicano experimenta un grado de presión del 19.2%, lo cual se considera de nivel bajo; sin embargo, las zonas norte, noroeste y centro del país, experimentan un alto grado de presión (Tabla 3-3). También, existen en México más de 5 mil presas, la capacidad de almacenamiento de las presas del país es de aproximadamente 150 mil hm³.

Tabla 3-3 Grados de presión sobre el recurso hídrico en México

| RHA | Región Hidrológico-Administrativa (RHA) | Volumen total de agua concesionado (millones de m ³) | Grado de presión (%) | Clasificación del grado de presión |
|------|---|--|----------------------|------------------------------------|
| I | Península de Baja California | 3,959 | 81.20 | Alto |
| II | Noroeste | 6,748 | 81.60 | Alto |
| III | Pacífico Norte | 10,803 | 40.60 | Alto |
| IV | Balsas | 10,860 | 50.10 | Alto |
| V | Pacífico Sur | 1,570 | 5.10 | Sin estrés |
| VI | Río Bravo | 9,537 | 76.70 | Alto |
| VII | Cuencas Centrales del Norte | 3,835 | 48.40 | Alto |
| VIII | Lerma-Santiago-Pacífico | 15,852 | 45.40 | Alto |
| IX | Golfo Norte | 5,957 | 20.80 | Medio |
| X | Golfo Centro | 5,632 | 8.60 | Sin estrés |
| XI | Frontera Sur | 2,542 | 1.50 | Sin estrés |
| XII | Península de Yucatán | 4,498 | 15.20 | Bajo |
| XIII | Aguas del Valle de México | 4,782 | 139.20 | Muy Alto |
| | Total nacional | 86,577 | 19.20 | Bajo |

Fuente: CONAGUA, 2017

La cantidad de volumen concesionado a nivel nacional es muy variada, debido a la ubicación geográfica, variación en la precipitación y temperatura, la calidad y uso de suelo, aplicación de fertilizantes, la producción de agrícola variada, las técnicas empleadas para obtener producción, entre otros. Para la parte centro (Aguas del Valle de México) presenta un grado de estrés muy alto; y (Lerma-Santiago-Pacífico y Balsas) un estrés alto, al igual que la parte norte del país (Península de Baja California, Noroeste, Pacífico Norte, Río Bravo, y Cuencas Centrales del Norte), en el caso de (Pacífico Sur, Golfo Centro y Frontera Sur) no presentan estrés.

Cabe señalar, que la producción agrícola en el territorio mexicano es variada, en la parte norte lo que más se produce es vid mesa, aceitunas, sandía, jitomate, espárrago, lechuga, chile verde, papa, trigo, caña de azúcar, maíz de grano y forrajero; en cambio, para la parte central se tiene aguacate, fresa, mango, limón, toronja, cebada, maíz de grano, zarzamora, sorgo y calabaza; finalmente, en la parte sur naranja, papaya, soya, arroz, plátano, maíz de grano y elotero y caña de azúcar, en su mayoría (CONAGUA,

2018). Como se observa, la producción es muy diversa en todo el país, y con ello, la cantidad de agua que se requiere para su riego. En la parte norte y media del país, se encuentra un grado de presión alto por el recurso hídrico, además que se encuentran mayor cantidad de productos de riego y no se cuenta con mucha disponibilidad de agua.

3.5 Situación del recurso hídrico en México

En el país, la disponibilidad natural de agua no es homogénea a lo largo del territorio, así como tampoco lo es su disponibilidad estacional. México se encuentra en latitudes donde la precipitación se presenta sólo en algunos meses del año (mayo a septiembre). En cuanto a la distribución espacial del recurso se observa que, en general, las cuencas situadas en el centro y norte del territorio tienen una baja disponibilidad natural de agua porque la precipitación media anual de estas regiones es menor a 500 milímetros. No obstante, es en ellas donde se concentra una elevada proporción de población y actividades económicas. Por el contrario, en la península de Yucatán y en el sureste en general, la disponibilidad natural media de agua es alta, y concentra a menos del 10% de la población del país. A pesar de esta diferencia, es en el sur y sureste del país donde se encuentra el mayor número de habitantes sin acceso a servicio de agua potable: en Chiapas y Oaxaca, alrededor del 73% de la población rural y urbana tiene acceso a agua potable mientras que, en el Distrito Federal, Aguascalientes y Coahuila, más del 97% de las personas son abastecidas. En cuanto a las aguas superficiales que escurren por ríos y arroyos o que se almacenan en lagos, lagunas y humedales representan el 82% del agua renovable total del país; el resto del agua se encuentra en formaciones subterráneas (CONAGUA, 2016).

El recurso hídrico está íntimamente ligado al cambio climático, afectando este directamente al ciclo hidrológico, el cual se encarga de regular y preservar el agua en sus tres estados dependiendo la temperatura para acceso y disponibilidad del recurso hídrico (Conde-Álvarez, C. y Saldaña-Zorilla, 2007).

México se considera una de las naciones más vulnerables a los efectos del cambio climático, ya que 15% del territorio nacional, 68.2% de su población y 71% del PIB. Se

proyecta que la temperatura media anual en el país aumentará entre 0.5 y 4.8°C en el periodo 2020-2100. La precipitación podría reducirse en hasta 15% durante el invierno y 5% en el verano, mientras que la temporada de lluvias podría retrasarse hasta el otoño. La temperatura de la superficie del Mar Caribe, Golfo de México y Pacífico mexicano también podría aumentar entre 1 y 1.5° C, situación que favorecería la ocurrencia de ciclones tropicales y huracanes. Asimismo, se proyecta que los eventos hidrometeorológicos extremos (en particular lluvias torrenciales, ciclones tropicales y huracanes) podrían incrementarse, al igual que la ocurrencia de inundaciones y riesgos a la salud por daños a los sistemas de distribución de agua y drenaje (CONAGUA, 2017). Los cambios esperados en la temperatura y precipitación en las regiones norte y centro pueden aumentar la escasez de agua y, como resultado, provocar conflictos entre los usuarios por garantizar su uso. En el sur, aunque se prevé que las precipitaciones no variarán, 2 mil milímetros anuales en promedio (CONAGUA, 2011).

En cuanto a la vulnerabilidad del agua, se tiene el rápido crecimiento demográfico y urbano ha aumentado la demanda de servicios básicos (por ejemplo, suministro de agua y drenaje). En algunas regiones, el volumen asignado excede la disponibilidad natural, por lo que el vital líquido se transfiere desde cuencas lejanas. La falta de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales ha incrementado la contaminación de las fuentes de agua. Los asentamientos irregulares en zonas de recarga han disminuido la infiltración del agua de lluvia, favoreciendo la sobreexplotación de los acuíferos (Sosa-Rodríguez, 2015).

En América Latina, se estima que para el año 2020, entre 7 y 77 millones de personas sufrirán por estrés hídrico debido al cambio climático. Además, sufrirán por inundaciones cada año debido al aumento del mar para 2080. Las industrias y los asentamientos humanos más vulnerables son los que se encuentran en las zonas costeras y planicies inundables. Particularmente, en México, se presenta información acerca de cómo los huracanes se han incrementado su frecuencia y severidad. También, se han observado importantes cambios en los patrones de lluvia durante fuerte eventos de El Niño (1982-1983; 1997-1998), así como durante fuertes eventos de La Niña (1988-1999). En casi todo el territorio de México se presentan severas sequías de verano

durante fuertes Niños, provocando importantes pérdidas económicas (Conde-Álvarez y Saldaña-Zorilla, 2007).

Un aspecto muy importante para México, es considerar los escenarios futuros como el incremento de la población y su concentración en zonas urbanas. De acuerdo con el Consejo Nacional de Población (CONAPO), entre 2016 y 2030 la población del país aumentará en 15.2 millones de personas, aunque las tasas de crecimiento tenderán a reducirse. Además, para el 2030 aproximadamente el 78.3% de la población total se asentará en localidades urbanas (CONAPO, 2018).

Se estima que para el periodo 2016-2030, más de la mitad del crecimiento poblacional ocurrirá en las regiones hidrológico-administrativas (RHA) IV Balsas, VI Río Bravo, VIII Lerma-Santiago-Pacífico y XIII Aguas del Valle de México. En contraste, las cuatro RHA con menor crecimiento total (II Noroeste, III Pacífico Norte, V Pacífico Sur y VII Cuencas Centrales del Norte) presentan solamente el 12% del crecimiento poblacional regional es mayor a la proporción nacional para las RHA V Pacífico Sur, XI Frontera Sur, X Golfo Centro, IV Balsas, IX Golfo Norte y VIII Lerma-Santiago-Pacífico, en tanto que en las RHA restantes la proporción del crecimiento urbano es mayor a la nacional. A mayor concentración de población se requiere mayor disponibilidad de recurso hídrico para cubrir las diferentes actividades (CONAGUA, 2018).

Como se aprecia en el presente capítulo, el agua en México tiene diversos usos, siendo el agrícola quien requiere más del 70% del recurso hídrico para producción agrícola de riego en toda la república mexicana. En nuestro país se tienen 86 DR, así como UR, el área agrícola que cuenta con infraestructura y sistemas de riego, además, de DTT, el distrito temporal tecnificado en el campo agrícola. Cabe destacar, que la ubicación geográfica de México; en la parte norte de nuestro país, se tiene menor disponibilidad de agua; en cambio, para los estados del centro y sur, son los que constan de mayor disponibilidad de agua. Cabe señalar, que la situación del cambio climático repercute en todo el país. Para lo cual, es importante estimar la cantidad de agua que se requiere para riego de producción agrícola.

Capítulo 4 Estimación de la dependencia de la producción agrícola con la seguridad hídrica

En este capítulo se parte de la metodología desarrollada en la investigación cuantitativa para responder nuestras preguntas de investigación. Además, se estima la dependencia de la producción agrícola de riego con la seguridad hídrica en México. De igual manera, se realiza un modelo de datos panel con el paquete estadístico Eviews. Así mismo, se realizó una comparación entre la RHA III (Pacífico Norte) con la RHA VIII (Lerma-Santiago-Pacífico) siendo ambas muy productivas para México. El valor de la producción es mucho más elevado en el Pacífico Norte que en el resto del país. También, se considera que el crecimiento de la población mexicana va en aumento; por tanto y se demandará mayor volumen de alimento.

4.1 Metodología

La presente investigación está basada en el método científico, partiendo de las hipótesis, siendo el planteamiento del problema basado en que los supuestos intentan resolver y comprobar cuales variables se pueden corroborar o no dependiendo de lo que se quiere estudiar. Su origen va desde un planteamiento del problema incluyendo el reconocimiento de los hechos: a) examen del grupo de hechos, clasificación preliminar y selección de los que probablemente sean relevantes en algún respecto, b) descubrimiento del problema como hallazgo de la laguna o de la incoherencia en el cuerpo del saber, y formulación del problema, la cual consiste en plantear de una pregunta que tiene probabilidad de ser la correcta; esto es, reducción del problema a su núcleo significativo, probablemente soluble y probablemente fructífero, con ayuda de conocimiento disponible (Bunge, 1960).

La presente investigación se clasifica dentro de un enfoque cuantitativo, el cual utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías; siendo de utilidad para evaluar, comparar, interpretar, establecer precedentes y

determinar causalidad y sus implicaciones. Los alcances de esta investigación cuantitativa se centran en la cuestión descriptiva y práctica, correlacional y explicativa. Para la primera, se busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. A grandes rasgos, describe tendencias de un grupo o población; en la segunda, asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o población; finalmente, la explicativa pretende establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian (Sampieri, 2014). Una vez aplicado el método científico se procede a realizar un método cuantitativo-explicativo, el cual permitirá explicar cómo afecta la disponibilidad del recurso hídrico a la producción agrícola, por medio de un modelo econométrico.

El análisis de datos cuantitativos se realiza tomando en cuenta los niveles de medición de las variables y mediante la estadística, que puede ser paramétrico (regresión lineal, coeficientes de correlación, entre otros). En la figura anterior, se observa la metodología a desarrollar en la presente investigación (Figura 4-1). Para aplicar la metodología indicada y su flujo, se consultaron las estadísticas agrícolas de México (CONAGUA) de las cuales se recopilaron los datos de los años correspondientes (2003-2017) para el análisis de producción y la cantidad de recurso hídrico utilizado para riego a nivel nacional. Una vez recopilados los datos se procesaron en un análisis econométrico utilizando el software *EViews 9.5 Student Version* con un modelo de datos panel para obtener una regresión lineal en los últimos 15 años analizados, así como el análisis de dependencia y correlación de las variables.

La econometría se emplea en todas las áreas de la economía aplicada para probar teorías, proporcionar información a los encargados de elaborar las políticas públicas y privadas, además de predecir series de tiempo econométricas. Los modelos econométricos se pueden obtener por modelos formales o informales. Los objetivos de cualquier análisis econométrico son estimar los parámetros de un modelo y probar hipótesis acerca de ellos. Los tipos de estructura de datos más comúnmente empleados en econometría aplicada son los datos de corte transversal, las series de tiempo, las combinaciones de cortes transversales y los datos panel (Wooldridge, 2009).

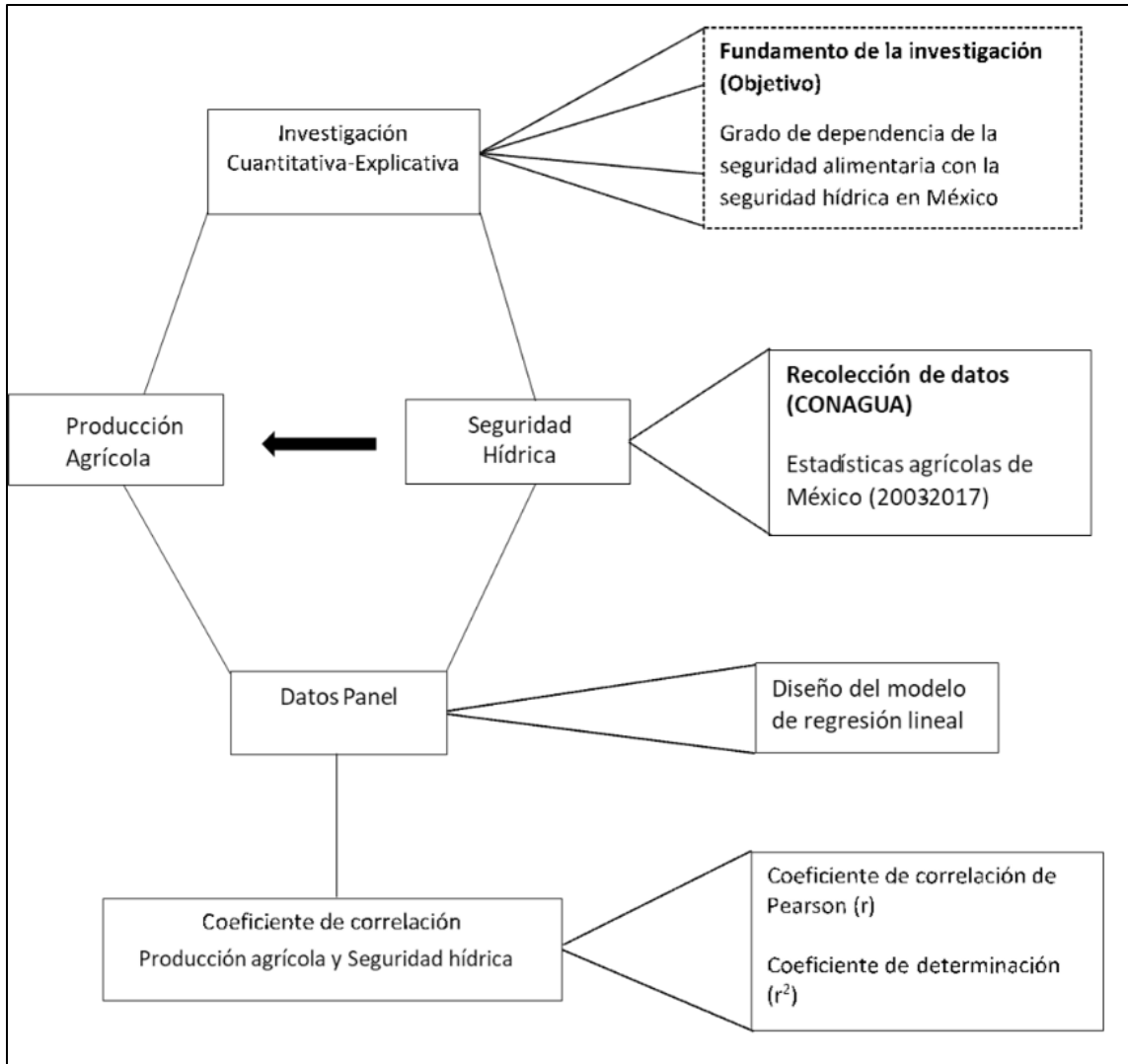


Figura 4-1 Modelo de la metodología aplicada

Fuente: Elaboración propia.

Un modelo econométrico, es una forma válida de plantear un conocimiento que ayuda a entender la realidad, proveyendo de una base explícita para la discusión (Armenta-Faire, De la Cruz y Lagunes-Toledo, 2001). El éxito de cualquier análisis econométrico depende en último término de la disponibilidad de información apropiada. Es muy importante dedicar algún tiempo a estudiar la naturaleza, las fuentes y las limitaciones de los datos que se pueden encontrar en el análisis empírico. Puede haber tres tipos de datos disponibles para el análisis empírico: series de tiempo, series de corte transversal e información combinada, esta última incluye series de tiempo en combinación con series de corte transversal (Gujarati, 2010).

Por medio de un modelo, se exige una especificación más precisa de las variables que lo integran, así como una relación funcional definida y tienen, además, un carácter aleatorio. La elaboración de un modelo econométrico se da por varias etapas: a) especificación de las hipótesis establecidas con las que se intenta medir el fenómeno; b) estimación de sus parámetros, por medio de técnicas econométricas apropiadas; c) evaluación de los resultados, sobre la base de criterios económicos, estadísticos y econométricos, además de la valoración de su capacidad predictiva. Los datos utilizados para la estimación del modelo considerado pueden presentarse en forma de serie temporal, suministrando información acerca de los valores numéricos de las variables a lo largo del tiempo; de tipo transversales cuando se refieran a un conjunto de observaciones de una determinada variable, observada en distintas unidades y una unidad temporal; o panel, si proporcionan información derivada de análisis repetidos de una muestra simple en diferentes períodos de tiempo (Díaz-Fernández y Llorente-Marrón, 2007).

Cabe destacar la importancia en el análisis de series de tiempo, las cuales incorpora información de variables y/o unidades individuales de estudios durante un período determinado de tiempo (dimensión temporal). La parte sistemática de la relación lineal aporta gran información, como es el caso de un modelo de datos panel que incluye una muestra de agentes económicos o de interés como los individuos, empresas, bancos, ciudades, países, entre otros, para un período determinado de tiempo, desde una dimensión temporal y estructural (Novales, 2010).

El principal objetivo de aplicar y estudiar los datos panel, es capturar heterogeneidad no observable, ya sea entre agentes económicos o de estudio, así como también en el tiempo, dado que esta heterogeneidad no se puede detectar ni con estudios de series temporales ni tampoco con los de corte transversal. Este tipo de estudios, permite realizar un análisis más dinámico al incorporar la dimensión temporal de los datos, lo que enriquece el estudio, particularmente en períodos de grandes cambios. Los efectos temporales son aquellos que afectan por igual a todas las unidades individuales del estudio (Baronio y Vianco, 2014).

Específicamente, un modelo de regresión puede explicar si existe una relación causal entre las variables dependientes y las independientes. El análisis de regresión trata el estudio de la dependencia de una variable (variable dependiente) respecto de una o más variables (variables independientes) con el objetivo de estimar o predecir la media o el valor promedio (Gujarati, 2010).

El paquete estadístico *EViews 9.5 Student Version* fue de utilidad en el análisis econométrico de esta investigación, de estadísticas y pronósticos que ofrece herramientas analíticas poderosas dentro de una interfaz flexible y fácil de usar. Además, ofrece a los investigadores académicos, corporaciones, agencias gubernamentales y estudiantes acceso a poderosas herramientas de pronóstico y modelado estadístico a través de una interfaz fácil de usar orientada a objetos. Actualmente, con la ayuda de esta herramienta estadística, se pueden administrar los datos de manera rápida y eficiente, realizar análisis econométricos y estadísticos, generar pronósticos o simulaciones de modelos y producir gráficos y tablas de alta calidad, entre otras muchas aplicaciones.

En estadística y econometría, el término de datos de panel se refiere a datos que combinan una dimensión temporal con otra transversal. Un conjunto de datos que recoge observaciones de un fenómeno a lo largo del tiempo se conoce como serie temporal. Dichos conjuntos de datos están ordenados y la información relevante respecto al fenómeno estudiado es la que proporciona su evolución en el tiempo. Un conjunto transversal de datos contiene observaciones sobre múltiples fenómenos en un momento determinado. En este caso, el orden de las observaciones es irrelevante. Este conjunto de datos de panel recoge observaciones sobre múltiples fenómenos a lo largo de determinados períodos. La dimensión temporal enriquece la estructura de los datos y es capaz de aportar información que no aparece en un único corte (Baronio y Vianco, 2014).

Un conjunto de datos panel consiste en una serie de tiempo por cada unidad de una base de datos de corte transversal. La característica fundamental de los datos de panel, que los distingue de las combinaciones de cortes transversales, es que durante un intervalo de tiempo se vigilan las mismas unidades de un corte transversal. Una

ventaja de utilizar estos datos es tener varias observaciones de las mismas unidades permite controlar determinadas características no observadas suele facilitar la inferencia causal en situaciones en las que inferir causalidad sería muy difícil si se contara sólo con un corte transversal. Otra ventaja de los datos panel es que permiten estudiar la importancia de desfases de conducta o los resultados de la toma de decisiones. Cabe señalar, que los conjuntos datos panel se usan en la práctica cada vez con mayor frecuencia, en especial para el análisis de políticas (Wooldridge, 2009).

Baronio y Vianco (2014) describen un modelo econométrico de datos panel como aquel que incluye una muestra de agentes económicos o de interés (individuos, empresas, bancos, áreas metropolitanas, países, entre otros) en un período de tiempo determinado, combinando dos tipos de datos (dimensión temporal y estructural). El principal objetivo de aplicar y estudiar los datos en panel, es capturar la heterogeneidad no observable, entre agentes económicos, así como también en el tiempo, debido a que esta heterogeneidad no se puede detectar con estudios de series temporales ni con estudios de corte transversal. La aplicación de esta metodología permite analizar dos aspectos importantes: efectos individuales específicos y efectos temporales.

Se utilizó un modelo de datos de panel en el cual se explica la relación entre las variables de producción Q (miles de ton) y volumen de agua utilizado W (millones de m^3) considerando un modelo de regresión lineal simple establecido en la siguiente función (Gujarati, 2010):

$$Q = \alpha_{ij} + \beta_{ij}W + u_{it} \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde:

Q = producción agrícola (miles de ton) (variable dependiente)

α_{ij} = influencia de otras variables sobre Q en cada uno de los 13 organismo de cuenca

β_{ij} = cambio porcentual (β) Q por cambios en W en el periodo 2003-2017

W = volumen de agua (miles de m^3) (variable independiente)

i = 13 (número de muestra)

$j = 15$ años (tiempo)

u_{it} = es el término del error

u_{it} se puede descomponer de la siguiente forma:

$$u_{it} = u_i + v_t + w_{it} \quad (\text{ecuación 2})$$

Donde:

u_i = representa los efectos no observables que difieren entre las unidades de estudio, pero no en el tiempo, que generalmente se asocia a la tecnología incorporada.

v_t = se le identifica con efectos no cuantificables que varían en el tiempo, pero no entre las unidades de estudio

w_{it} = se refiere al término de error puramente aleatorio

Donde:

i significa la i -ésima unidad transversal y t el tiempo t . Como convención, i indicará el identificador transversal y t el del tiempo (Gujarati, 2010).

Un modelo de regresión común para el análisis de datos de panel tiene que la forma particular donde la variable dependiente y la variable independiente, son coeficientes, además son los índices para los individuos y el tiempo y, finalmente, es el error. Las hipótesis establecidas sobre este último determinan que el modelo se considere de efectos fijos o aleatorios (Greene, 2008).

Como bien lo comenta Novales (2010) en el análisis de regresión se trata de estimar o predecir el valor promedio de una variable con base en los valores fijos de otras. Además, en este análisis existe una asimetría en el tratamiento a las variables dependientes y explicativas. El método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) es el más común en el análisis de regresión. La precisión de los estimadores de este método se mide por sus errores estándar. Este método también llamado de regresión lineal se utiliza tanto para pronósticos de series de tiempo como para pronósticos de relaciones causales. Cuando la variable dependiente cambia como resultado del tiempo se trata de un análisis de serie temporal.

En la ecuación 3, se hace referencia a la distribución de la media correspondiente a los 15 años analizados para obtener diferencias entre la cantidad de agua utilizada y la producción agrícola a los 15 años analizados (Gujarati, 2010).

$$X = \sum_{j=1}^N X_{ij} \quad (\text{ecuación 3})$$

Donde:

X= media muestral

N= Número de muestra

X_{ij}= 13 organismos de cuenca con producción agrícola y volumen de agua

i= 13 (número de muestra)

j= 15 años (tiempo)

Para la estimación del modelo se utilizó el método de mínimos cuadrados para datos de panel (Gujarati, 2010), con el paquete estadístico *Eviews (Econometric Views)*. Además, de la información proporcionada por las bases de datos consultadas en las estadísticas agrícolas de México (CONAGUA) de los años analizados (2003-2017), se generó un archivo con la información por medio de la paquetería estadística Excel. La cual fue de vital ayuda en el proceso de los datos.

4.2 Estimación de la dependencia de la producción agrícola con la seguridad hídrica en México (2003-2017)

En el siguiente apartado se abordan los supuestos considerados en un inicio. Primero, si existe una dependencia de la producción agrícola con la seguridad hídrica en México, posteriormente, si existe un grado alto de vulnerabilidad de la seguridad hídrica con la producción agrícola en nuestro país. Por tanto, se tiene que uno depende del otro, debido a que la vulnerabilidad se relaciona con la dependencia hídrica de la producción agrícola de riego del campo mexicano para garantizar la seguridad alimentaria. En el modelo se asumen iguales necesidades hídricas independientemente de la variación de los productos, es decir, los productos son homogéneos y la necesidad hídrica de igual manera.

Partiendo del valor agregado de la producción en el país se utilizó un modelo de datos de panel, en el cual se explica la relación entre las variables de producción Q (miles de ton) y volumen de agua utilizado W (miles de m³). Estos datos se adecuan al análisis de panel en *EViews 9.5 Student Version*, por el cual es un análisis transversal; al analizar los periodos de tiempo, se tiene una correlación positiva y alta influencia de las cuencas en la producción. Por consiguiente, la producción agrícola depende de la seguridad hídrica, además la vulnerabilidad se relaciona con la dependencia hídrica de la producción del campo mexicano para cumplir con una seguridad alimentaria.

Derivado del supuesto de que existe dependencia de la producción agrícola con la seguridad hídrica en México se utilizó la media armónica para obtener el promedio de los datos, la cual resulta poco influida por la existencia de determinados valores mucho más grandes que el conjunto de los otros, presentando cambios sensibles a valores mucho más pequeños que el conjunto, así mismo este valor se emplea para promediar variaciones con respecto al tiempo. Por ello, se pretende obtener mayor precisión con los datos, omitiendo la aplicación de la media aritmética, para evitar algún sesgo.

En la Tabla 4-1, se presentan los promedios de producción agrícola y consumo de agua para cada organismo de cuenca en el periodo de estudio. El organismo de cuenca correspondiente a Pacífico Norte es quien requirió mayor cantidad de recurso hídrico y obtuvo mayor producción; en cambio, el organismo de cuenca correspondiente a Península de Yucatán, requirió la menor cantidad de agua y la menor producción del país. Observando dicho cuadro, existe una relación directa, se requiere mayor cantidad de recurso hídrico, se obtiene mayor producción, considerando que existen una gran cantidad de productos de exportación, los cuales se incrementan en valor monetario. Por lo tanto, no se está siendo sustentable, en la cuestión de la utilización del recurso hídrico, siendo lo ideal, con poca cantidad de agua obtener una mayor producción.

Analizando la Tabla 4-1, se observa que Pacífico Norte es la región que obtiene mayor producción en México (caña de azúcar, jitomate, maíz grano, papa, sorgo y trigo), y con ello, requirió mayor volumen de agua, teniendo un comportamiento proporcional.

Tabla 4-1 Promedios obtenidos de la base de datos de la producción y el volumen de agua utilizado (2003-2017)

| Organismo de cuenca | Q (miles de ton por ciclo) (2003-2017) | W (miles de m ³) (2003-2017) | Q/W | W/Q |
|------------------------------|---|---|--------|----------|
| Península de Baja California | 3,006.83 | 2,642,466.80 | 0.0011 | 878.82 |
| Noroeste | 3,246.43 | 3,882,214.18 | 0.0008 | 1,195.84 |
| Pacífico Norte | 10,017.32 | 8,084,641.40 | 0.0012 | 807.07 |
| Balsas | 3,847.24 | 2,420,332.62 | 0.0016 | 629.11 |
| Pacífico Sur | 542.98 | 329,484.03 | 0.0016 | 606.81 |
| Río Bravo | 2,822.55 | 2,237,591.29 | 0.0013 | 792.76 |
| Cuencas Centrales del Norte | 1,215.02 | 725,618.48 | 0.0017 | 597.21 |
| Lerma-Santiago-Pacífico | 7,034.41 | 3,116,149.07 | 0.0023 | 442.99 |
| Golfo Norte | 4,773.07 | 1,128,186.34 | 0.0042 | 236.36 |
| Golfo Centro | 2,339.92 | 656,860.35 | 0.0036 | 280.72 |
| Frontera Sur | 1,451.88 | 333,384.59 | 0.0044 | 229.62 |
| Península de Yucatán | 498.63 | 69,497.59 | 0.0072 | 139.38 |
| Aguas del Valle de México | 3,992.51 | 1,268,150.37 | 0.0031 | 317.63 |

Fuente: Elaboración propia a partir de CONAGUA, 2017.

Lerma-Santiago-Pacífico, alcanza las 7 toneladas de producción agrícola (aguacate, caña de azúcar, fresa, limón, mango, plátano, zarzamora, maíz grano), seguido de Golfo Norte (caña de azúcar, maíz grano y sorgo) con 4 toneladas; posteriormente, las Aguas del Valle de México (calabacita, maíz de grano y coliflor) con casi 4 toneladas; después Balsas (arroz, chayote, fresa, guayaba, limón, maíz de grano, mango, pepino, plátano y toronja) con casi 4 toneladas; la región Noroeste (calabaza, chile verde, espárrago, jitomate, maíz grano, melón, papa, sandía, trigo y vino de mesa); con 3 toneladas de producción; también, la Península de Baja California (cebolla, espárragos, jitomate, lechuga, maíz de grano, naranja y papa); en cambio, Río Bravo con menos de 3 toneladas (cebolla, chile verde, maíz de grano y sandía); al igual que Golfo Centro con 2 toneladas (caña de azúcar y maíz elotero), seguido de Frontera Sur con 1 tonelada (caña de azúcar, plátano y maíz grano), así como las Cuencas Centrales del Norte (chile verde, melón y sandía), con menos de 1 tonelada de producción se tiene a Pacífico Sur (limón, maíz de grano, mango y papaya) y finalmente, la Península de Yucatán quien presenta la más baja producción (caña de azúcar, limón y naranja).

Para el caso del consumo del recurso hídrico, la región Pacífico Norte fue quien requirió el mayor volumen de agua para su producción, más de ocho millones de miles de m^3 , seguido Noroeste y Lerma-Santiago-Pacífico con tres millones de m^3 de agua para riego de producción agrícola, para la Península de Baja California, Balsas y Río Bravo con dos millones de m^3 , en Golfo Norte y Aguas del Valle de México con un millón de miles de m^3 de agua para riego agrícola; las Cuencas Centrales del Norte, Pacífico Sur, Golfo Centro, Frontera Sur, y Península de Yucatán, por debajo de un millón de miles de m^3 . Posteriormente, las Cuencas Centrales del Norte, Pacífico Sur, Frontera Sur y Península de Yucatán con menos de un millón de miles de m^3 . Por tanto, cada organismo de cuenca se comporta de manera diferente, considerando la diversidad de los productos y disponibilidad de agua, además de las técnicas de riego, abono, semillas mejoradas, entre otros.

De acuerdo a la producción agrícola en el país, se tiene un comportamiento diferente en cada organismo de cuenca, siendo Noroeste, quien es la menos productiva, seguida de Península de Baja California, Pacífico Norte, Río Bravo, Balsas, Pacífico Sur, Cuencas Centrales del Norte; en cambio, Península de Yucatán la más productiva, seguida de Golfo Norte, Frontera Sur, Golfo Centro, Aguas del Valle de México y Lerma-Santiago-Pacífico, esto considerando la producción promedio de cada organismo de cuenca teniendo un m^3 de agua disponible para regar sus diversos productos y considerando un uso homogéneo del recurso hídrico para todos los productos.

Para el caso de la disponibilidad del agua en cada organismo de cuenca, tiene un comportamiento diverso, para Noroeste es quien requiere mayor volumen de agua a nivel nacional, seguido de Península de Yucatán, Pacífico Norte, Río Bravo, Balsas, Pacífico Sur, y Cuencas Centrales del Norte; al contrario, de Península de Yucatán, requirió el menor volumen de agua para obtener una tonelada de producción agrícola, seguido de Frontera Sur, Golfo Norte, Golfo Centro y Lerma-Santiago-Pacífico.

El análisis de correlación se relaciona de manera estrecha con el de regresión, aunque conceptualmente los dos son muy diferentes. En el análisis de correlación, el

objetivo principal es medir la fuerza o el grado de asociación lineal entre dos variables. El coeficiente de correlación mide esta fuerza de asociación lineal.

En cuanto a lo referente a la relación y dependencia de la producción agrícola con la seguridad hídrica, se utilizó un modelo con datos de panel, el cual es uno de los más confiables, y consideran datos de series de tiempo, con 13 observaciones como bien lo señala Gujarati (2010), presenta algunas ventajas respecto a los modelos transversales o de series temporales, porque en él no existe límite para la heterogeneidad de los datos, proporciona una mayor cantidad de datos informativos, resulta más adecuado para estudiar la dinámica del cambio, puede detectar y medir algunos efectos, permite estudiar modelos de comportamiento más complejos y minimiza el sesgo resultante de una agregación total de datos. Además, existen muchas ventajas de utilizar datos de panel, entre ellas, al combinar las series de tiempo de las observaciones de corte transversal, los datos de panel proporcionan “una mayor cantidad de datos informativos, más variabilidad, menos colinealidad entre variables, y una mayor eficiencia”. Al estudiar las observaciones en unidades de corte transversal repetidas, los datos de panel resultan más adecuados para estudiar la dinámica del cambio. Los datos de panel detectan y miden mejor los efectos que sencillamente ni siquiera se observan en datos puramente de corte transversal o de series de tiempo, además, reducen el sesgo.

Los resultados encontrados en el modelo fueron con un nivel de confianza del 95%, y una R^2 de 0.88, consta de un 88% de confiabilidad, este valor explica como la Q (variable dependiente) depende en un 88% de la W (variable independiente) y, una R^2 ajustada de 87%, demuestran que el agua explica la producción agrícola en un 87%. El modelo -de acuerdo con el estadístico DW- no está auto correlacionado, por tanto, este valor nos dice que no existe autocorrelación entre las variables, el modelo es confiable; siendo un valor válido (1.8), en el modelo. Cabe señalar, que este consta de un rango de 1.5 a 2.0 (Tabla 4-2). De acuerdo, con la razón de t, todos los coeficientes estimados fueron significativos y muestran congruencia con la producción obtenida de cada organismo de cuenca; por tanto, se puede afirmar que los factores que componen la ecuación son determinantes en la producción agrícola. Además, se obtiene un valor de cero en la probabilidad, por consiguiente, es un modelo altamente confiable.

Tabla 4-2 Resultados de los datos

| Estadístico | Valor obtenido |
|---------------------|----------------|
| R-cuadrada | 0.88 |
| R-cuadrada ajustada | 0.87 |
| Durbin-Watson | 1.80 |

Fuente: Elaboración propia datos de salida de Eviews.

La producción agrícola tiene un cambio porcentual importante ante modificaciones en el uso del agua, es decir, ante variaciones en la cantidad de agua utilizada; la producción agrícola cambiará de forma variada, -uso de más agua, no necesariamente se tendrá mayor producción, menos agua utilizada no podrá arrojar mayor producción agrícola-, la cantidad utilizada de recurso hídrico en cada organismo de cuenca responde de manera diversa en la producción agrícola que va de un rango de 29% a 42%. Siendo Golfo Norte quien obtuvo 42% de producción agrícola por cada unidad de agua que se le proporcionó; en seguida, se tiene a Pacífico Norte y Lerma-Santiago-Pacífico con un 41% de producción, posteriormente, está Valle de México (39%), Golfo Centro y Balsas (38%), Frontera Sur (37%), Península de Baja California y Río Bravo (36%), Noroeste (35%), Cuencas Centrales del Norte (33%), Península de Yucatán (31%), y finalmente, Pacífico Sur (29%), como se muestra en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3 Resultados del modelo econométrico (2003-2017)

| Organismo de cuenca | Variable | Coefficiente | Estadístico-t | Probabilidad |
|------------------------------|------------|--------------|---------------|--------------|
| Península de Baja California | LOG(VOL1) | 0.36 | 4.63 | 0.0158 |
| Noroeste | LOG(VOL2) | 0.35 | 4.71 | 0.0000 |
| Pacífico Norte | LOG(VOL3) | 0.41 | 5.70 | 0.0000 |
| Balsas | LOG(VOL4) | 0.38 | 4.87 | 0.0000 |
| Pacífico Sur | LOG(VOL5) | 0.29 | 3.20 | 0.0016 |
| Río Bravo | LOG(VOL6) | 0.36 | 4.64 | 0.0000 |
| Cuencas Centrales del Norte | LOG(VOL7) | 0.33 | 4.00 | 0.0001 |
| Lerma-Santiago-Pacífico | LOG(VOL8) | 0.41 | 5.40 | 0.0000 |
| Golfo Norte | LOG(VOL9) | 0.42 | 5.05 | 0.0000 |
| Golfo Centro | LOG(VOL10) | 0.38 | 4.45 | 0.0000 |
| Frontera Sur | LOG(VOL11) | 0.37 | 4.04 | 0.0001 |
| Península de Yucatán | LOG(VOL12) | 0.31 | 3.06 | 0.0025 |
| Aguas del Valle de México | LOG(VOL13) | 0.39 | 4.88 | 0.0000 |

Fuente: Elaboración propia con datos de salida de Eviews.

Las diferencias son independientes en cada uno de los organismos de cuenca como se observa en el t-estadístico, el cual indica la distribución de probabilidad que surge de estimar la media de un conjunto de datos, en los datos se aprecia que cada uno de ellos utilizan cantidades diversas con respecto al recurso hídrico, por ende, diferentes producciones agrícolas. Por ende, la parte no explicada por el uso del agua se debe a factores no considerados en el modelo, como la calidad de los suelos, los fertilizantes utilizados, y las técnicas empleadas en cada organismo de cuenca, la producción agrícola en cada organismo de cuenca, se comporta de forma variada, entre otros.

El análisis abarca 15 años consecutivos (2003-2017); las variables son la producción agrícola correspondiente a cada uno de los 13 organismos de cuenca en el territorio mexicano, y el volumen de agua requerido para la dicha producción. Cabe señalar, que los datos utilizados en el modelo son datos agregados de toda la producción agrícola, indistintamente del producto, así mismo que todos los productos requieren la misma cantidad de agua para su producción, considerando si es maíz de consumo interno o aguacate, para exportación.

La disponibilidad del agua y la producción agrícola en el país es muy variada; en la parte norte se requiere mayor volumen hídrico debido a que la mayor producción se enfoca en vino de mesa, sandía, papa, maíz de grano y forrajero, caña de azúcar y trigo. Para la parte media del país, se obtiene mayor producción de aguacate, fresa, mango, zarzamora, limón, naranja, toronja, maíz de grano, calabacita y soya; finalmente, en la parte sur se produce papaya, maíz de grano, arroz, caña de azúcar y plátano. En la Figura 4-2, se aprecia el volumen de agua utilizado para la producción agrícola en el país durante 2003-2017.

En la Figura 4-2, se aprecia que en los 13 organismos de cuenca es poca la producción para el volumen de agua que utilizan para dicha producción. Primeramente, se tiene a Pacífico Norte quien consumió alrededor de los ocho millones de miles de m^3 de agua; seguido de Noroeste, casi requirió los cuatro millones; posteriormente, esta Lerma-Santiago-Pacífico, alrededor de los 3.5 millones de m^3 ; en el caso de Balsas y Península de Baja California cerca de los tres millones; Río Bravo con dos millones de

miles de m³; finalmente, Aguas del Valle de México y Golfo Norte con un millón de miles de m³; y Pacífico Sur, Cuencas Centrales del Norte, Golfo Centro, Frontera Sur y Península de Yucatán, por debajo de un millón de miles de m³ de consumo de recurso hídrico. De manera detallada, se tiene que el país de comporta de forma muy diversa, además cabe resaltar que no se tiene un uso sustentable, siendo lo ideal, una mayor producción con poco recurso hídrico.

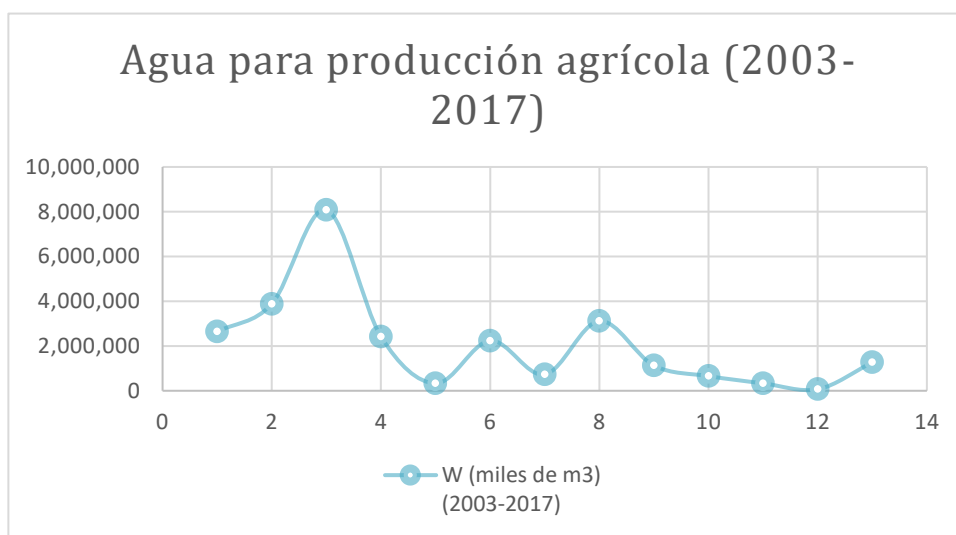
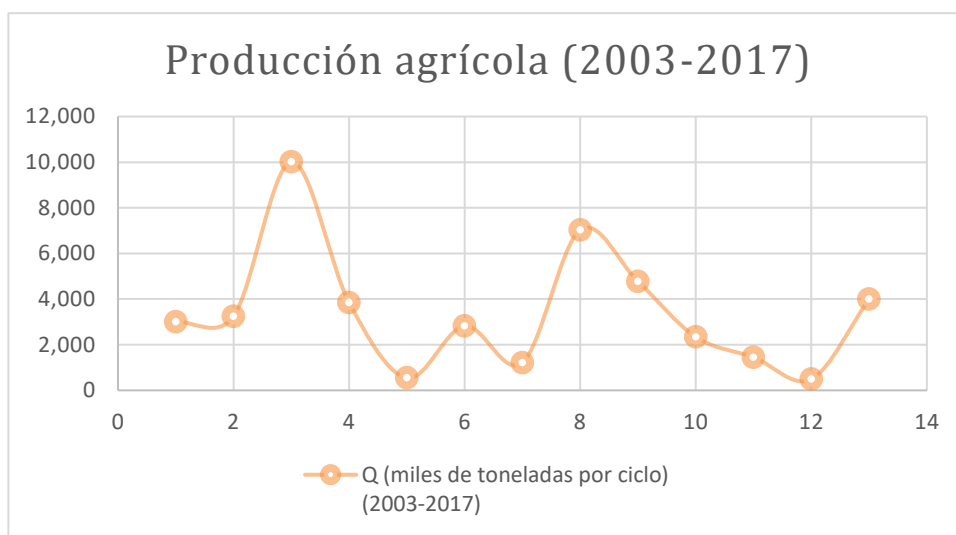


Figura 4-2 Producción agrícola del periodo 2003-2017 en México
Fuente: Elaboración propia con datos de las estadísticas agrícolas de México

En el modelo econométrico, se aprecia el comportamiento de los organismos de cuenca Península de Baja California, Noroeste, Pacífico Norte, Balsas, Pacífico Sur, Río Bravo, Cuencas Centrales del Norte, Lerma-Santiago-Pacífico, Golfo Norte, Golfo Centro, Frontera Sur, durante el periodo de 2008-2010, registraron una producción elevada, como se observa en la Figura 4 3.

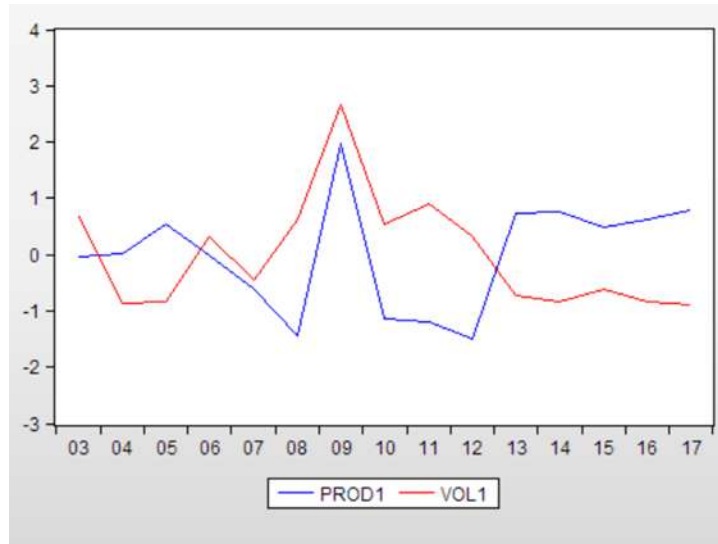


Figura 4-3 Organismo de cuenca Península de Baja California



Figura 4-4 Organismo de cuenca Valle de México

En comparación con los demás años; en cambio para Península de Yucatán y Valle de México, se comportaron de manera muy diferente, mostrando un comportamiento de acuerdo a la disponibilidad de agua utilizada en estos organismos de cuenca (Figura 4-4).

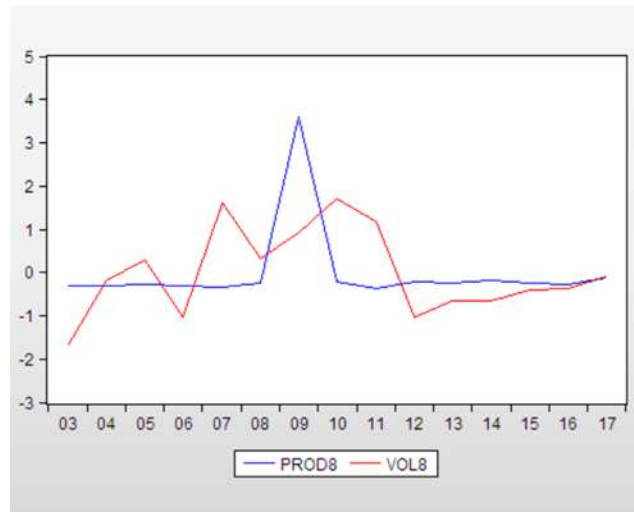


Figura 4-5 Organismo de cuenca Lerma-Santiago-Pacífico

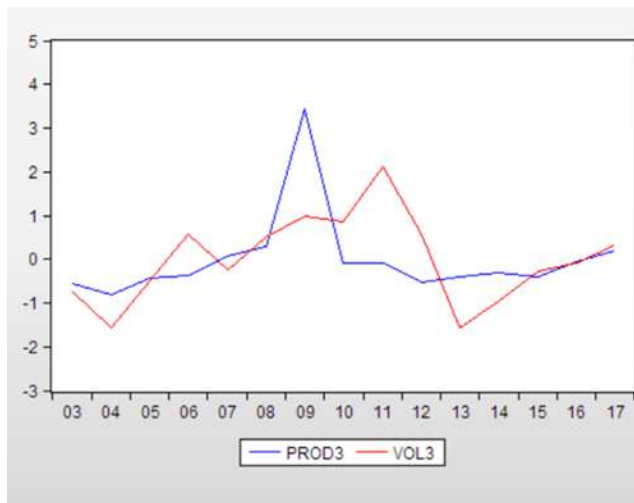


Figura 4-6 Organismo de cuenca Pacífico Norte

En la región Lerma-Santiago-Pacífico se observa una baja producción en comparación con la cantidad de recurso hídrico utilizado en los años 2004, 2005, 2007 y 2010; en cambio, en 2008 y 2009 se requirió poca agua obteniendo una producción agrícola alta. Para el periodo 2012-2017 se comporta de manera homogénea (Figura 4-5).

De manera similar, se comporta el organismo de cuenca Pacífico Norte, se observa una baja producción en comparación con la cantidad de recurso hídrico utilizado en los años 2004, 2005, 2007 y 2013; en cambio, en 2008 y 2009 se requirió poca agua obteniendo una producción agrícola alta. Para el periodo 2015-2017 se comporta de manera homogénea (Figura 4-6).

Cabe destacar que, a través de la base de datos proporcionadas por CONAGUA, se logró analizar el comportamiento de manera minuciosa de todos los organismos de cuenca, para Península de Baja California, entre el periodo de 2008-2010, se requiere un gran volumen de agua, y con ello una gran producción, a diferencia del periodo (2003-2007) y (2011-2017) se utilizó un volumen de agua bajo, y una producción alta. El organismo de cuenca Noroeste en el periodo de 2008-2010 se obtuvo una producción elevada con poco recurso hídrico, a diferencia de 2011 y 2012, se obtuvo poca producción y utilizando mucho recurso hídrico. De esta misma manera, se comporta Pacífico Norte, Balsas, Pacífico Sur, Río Bravo, Cuencas Centrales del Norte, Lerma-Santiago-Pacífico, Golfo Norte, Golfo Centro, y Frontera Sur. El organismo de cuenca Península de Yucatán se comporta de manera congruente, en (2007-2011), el volumen de agua utilizado va a la par con la producción. Sin embargo, durante (2012-2017) se utilizó poco recurso hídrico y una producción alta. Para el organismo de cuenca Valle de México, la producción es baja en (2003-2012); en cambio, en (2013 a 2017), se obtuvo una alta producción con poco volumen de recurso hídrico.

Analizando lo anterior, se tiene que los organismos de cuenca en el país, depende o asumen una estrecha relación (producción agrícola con la disponibilidad de agua), considerando la variedad de cultivos en el territorio mexicano. La producción agrícola depende de la seguridad hídrica, como un elemento primordial, por tanto, si la seguridad hídrica se ve afectada, ésta va a afectar directamente a la producción agrícola. Con base al análisis anterior, se estudian las cifras correspondientes a la población mexicana, considerando que esta va en aumento, a mayor cantidad de personas, mayor cantidad de agua y alimento para abastecer a su población. En la Figura 4 7, se aprecia que la población mexicana va cada año en aumento, por lo que se espeluca que el cambio climático va a afectar tanto directa como indirectamente la disponibilidad de agua y la

producción agrícola en el territorio mexicano sino se considera un cambio en la política que actualmente existe. Se tiene que la población va en aumento, por lo cual, cada vez más se va requerir mayor producción agrícola y mayor volumen de agua en el país, con ello poder satisfacer y puedan realizar sus actividades cotidianas de los mexicanos.

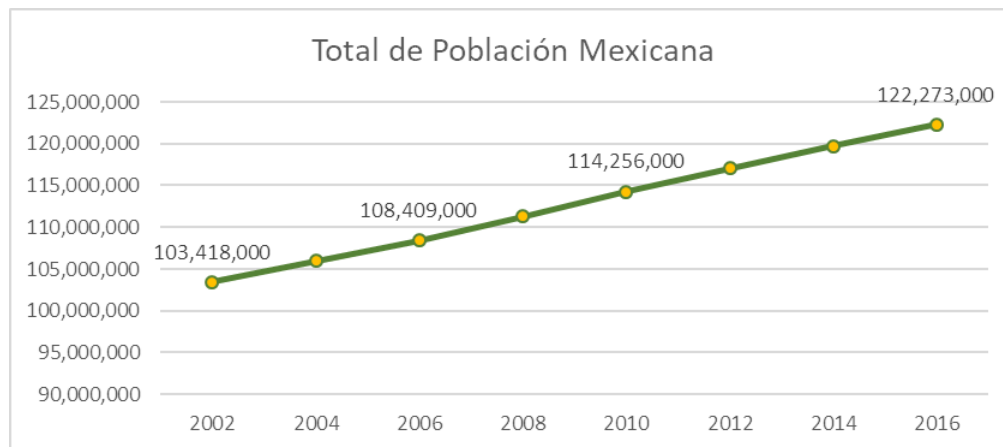


Figura 4-7 Total de la población mexicana (2002-2017)

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

La agricultura es por mucho el usuario de agua más grande, no sólo en México sino en la mayoría de los países, a pesar de esto, y de que cada vez se pone mayor énfasis en la utilización de los mecanismos económicos para racionalizar la demanda de agua, existen pocos estudios econométricos enfocados en la estimación de la función de demanda de agua para uso agrícola, y la respuesta de ésta ante las modificaciones de los precios (Cruz-Gutiérrez, Magaña-Zamora y Hernández-Gen, 2015). La producción agrícola depende, en esencia de la disponibilidad del recurso hídrico.

Como bien lo comentan Guerrero-García Rojas *et al.*, (2002) se tienen algunas áreas con sistemas de riego que ya están usando técnicas eficientes en el uso del agua en nuestro país, siendo la agricultura de riego la actividad productiva que más consume agua superficial como subterránea (alrededor del 80%). También, se tienen estudios referentes al manejo del agua para producción agrícola (presas, por gravedad, conducción, distritos de riego, módulos, entre otros) donde el uso de agua se extrae en volúmenes mayores que la disponibilidad media de las cuencas, se registran pérdidas

significativas además de un manejo deficiente (Mejía-Sáenz, Palacios-Vélez, Exebio-García y Santos-Hernández, 2002).

A partir de un modelo con datos de panel, el cual es uno de los más eficientes, como bien lo señala Gujarati (2010), presenta algunas ventajas respecto a los modelos transversales o de series temporales, porque en él no existe límite para la heterogeneidad de los datos, proporciona una mayor cantidad de datos informativos, resulta más adecuado para estudiar modelos de comportamientos más complejos y minimiza el sesgo resultante de una agregación total de datos.

4.3 Comparación del volumen y valor de la producción agrícola (2003-2017) de la RHA (III) Pacífico Norte y (VIII) Lerma-Santiago-Pacífico

En este apartado se analiza el comportamiento de la producción agrícola correspondiente a Pacífico Norte, ubicada en la parte norte del país, y Lerma-Santiago-Pacífico, se encuentra en la zona centro-occidente del territorio mexicano. Cabe señalar, que estas cuencas se comportan de manera muy diferente, a pesar de presentar la misma cantidad de cambio porcentual en su producción agrícola. Además, la cuenca Lerma-Santiago-Pacífico presenta graves problemas ambientales, económicos, sociales, entre otros.

La RHA Pacífico Norte se ubica en la parte del país. La cual comprende la totalidad del estado de Sinaloa, y partes de Chihuahua, Durango, Zacatecas y Nayarit. Está conformada por 51 municipios, así como, por 10 distritos de riego (10, 43, 52, 63, 74, 75, 76, 108, 109 y 111). Presenta 51 municipios, una superficie territorial de 152, 007 km², la cual equivale al 8% del total del territorio mexicano (CONAGUA, 2018).

El comportamiento de esta región es muy peculiar, Nayarit es quien figura con el volumen de producción más alto (84%); en cambio, Sinaloa presenta el primer sitio con el mayor valor de producción (90%), considerando todos los cultivos (Tabla 4-4).

Tabla 4-4 Volumen y valor de producción de todos los cultivos de riego en la RHA (III) Pacífico Norte (2003-2017)

| Estados de la RHA Pacífico Norte | Volumen Producción (ton) | Valor Producción (\$) | % volumen | % valor |
|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|
| Chihuahua | 86,121.85 | 97,302,339.15 | 0% | 0% |
| Durango | 17,581,074.51 | 22,064,247,530.20 | 2% | 5% |
| Nayarit | 858,246,452.94 | 15,936,761,263.16 | 84% | 3% |
| Sinaloa | 143,828,837.37 | 425,547,917,588.52 | 14% | 90% |
| Zacatecas | 1,653,207.15 | 7,265,947,536.27 | 0% | 2% |
| Total general | 1,021,395,693.82 | \$470,912,176,257.30 | 100% | 100% |

Fuente: SIAP, 2018.

Para el análisis de los 10 principales cultivos de riego en la RHA Pacífico Norte de mayor producción y su valor, el plátano es quien figura con el mayor volumen de producción (83%); en el caso del maíz de grano, este se ubica en el primer lugar en el valor de la producción (41%), como se puede apreciar en la Tabla 4-5. Dentro de las estadísticas de los indicadores de pobreza y vulnerabilidad social de CONEVAL (2015), la región Pacífico Norte presenta una población total de 4,437,636 habitantes, el 37% corresponde a una población en pobreza, mientras el índice de población con carencia alimentaria se registra con un 22% del total de los habitantes.

Tabla 4-5 Los 10 principales productos cultivados y su valor de producción (2003-2017)

| Cultivos de riego | Volumen Producción (ton) | Valor Producción (\$) | % Volumen del total | % Valor del total |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------|
| Plantero de tabaco | 851,976,110.00 | 177,810,318.85 | 83% | 0% |
| Maíz grano | 70,064,965.04 | 192,172,116,915.64 | 7% | 41% |
| Caña de azúcar | 26,395,881.18 | 11,128,422,527.16 | 3% | 2% |
| Tomate rojo (jitomate) | 12,623,876.16 | 51,670,293,125.59 | 1% | 11% |
| Chile verde | 8,326,222.66 | 43,588,188,283.36 | 1% | 9% |
| Sorgo grano | 7,138,599.74 | 18,793,013,132.00 | 1% | 4% |
| Maíz forrajero en verde | 5,372,094.11 | 2,106,480,070.35 | 1% | 0% |
| Papa | 4,870,943.85 | 31,008,548,674.00 | 0% | 7% |
| Alfalfa verde | 4,834,606.35 | 2,175,256,619.23 | 0% | 0% |
| Pepino | 3,600,207.28 | 14,069,969,496.31 | 0% | 3% |
| TOTAL | 995,203,506.37 | 366,890,099,162.49 | 97% | 78% |

Fuente: SIAP, 2018.

Cabe señalar, que en esta región se cultivan algunos productos de primera necesidad (maíz, tomate, chile, papa, caña de azúcar y plátano), el valor de la producción agrícola por riego por tonelada corresponde a \$368.66.

En cambio, la RHA Lerma-Santiago-Pacífico se encuentra en la zona centro-occidente del país. Comprende 9 estados: Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Estado de México, Nayarit, Querétaro y Zacatecas. En esta región existen 6 subregiones y 100 cuencas hidrológicas. Está constituida por 329 municipios y 13 distritos de riego (01, 11, 13, 20, 24, 33, 34, 53, 61, 85, 87, 93 y 94) Tiene una superficie territorial: 192,722 km², que equivale al 9.8% del territorio mexicano (CONAGUA, 2018). Para esta región, el estado de Michoacán es quien figura con el volumen de producción más alto (63%); en cambio, Guanajuato presenta el primer sitio con el mayor valor de producción (30%), considerando todos los cultivos (Tabla 4 6).

Tabla 4-6 Volumen y valor de producción de todos los cultivos de riego en la RHA (VIII) Lerma-Santiago-Pacífico (2003-2017)

| Estados de la RHA Lerma-Santiago-Pacífico | Volumen Producción (ton) | Valor Producción (\$) | % volumen | % valor |
|---|--------------------------|-----------------------------|-----------|---------|
| Aguascalientes | 37,754,716.08 | 25,827,700,248.91 | 1% | 4% |
| Colima | 22,753,524.88 | 46,829,236,351.50 | 1% | 7% |
| Guanajuato | 116,343,991.68 | 186,423,181,453.61 | 3% | 30% |
| Jalisco | 517,863,442.87 | 149,229,361,922.54 | 14% | 24% |
| México | 558,149,961.21 | 49,640,097,911.32 | 15% | 8% |
| Michoacán | 2,261,651,841.70 | 126,918,517,517.22 | 63% | 20% |
| Nayarit | 67,703,234.43 | 17,845,042,551.64 | 2% | 3% |
| Querétaro | 9,597,954.89 | 7,753,325,582.04 | 0% | 1% |
| Zacatecas | 10,502,856.73 | 18,462,129,876.28 | 0% | 3% |
| Total general | 3,602,321,524.47 | \$628,928,593,415.06 | 100% | 100% |

Fuente: SIAP, 2018.

Para el análisis de los 10 principales cultivos de riego en la RHA Lerma-Santiago-Pacífico de mayor producción y su valor, la fresa sobresale con el mayor volumen de producción (62%); al igual en el valor de la producción (21%), como se puede apreciar en la Tabla 4-7.

Cabe señalar, que en esta región son muy pocos los productos que se cultivan de primera necesidad (caña de azúcar, maíz y plátano), el valor de la producción agrícola por riego por tonelada corresponde a \$52.20. Dentro de las estadísticas de los indicadores de pobreza y vulnerabilidad social de CONEVAL (2015), la región Lerma-Santiago-Pacífico presenta una población total de 24,027,341 habitantes, el 41% corresponde a una población en pobreza, mientras el índice de población con carencia alimentaria se registra con un 21% del total de los habitantes.

Tabla 4-7 Los 10 principales productos cultivados y su valor de producción (2003-2017)

| Cultivos de riego | Volumen Producción | Valor Producción (\$) | % Volumen del total | % Valor del total |
|-------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------|-------------------|
| Fresa | 2,229,409,659.15 | 34,786,590,826.11 | 62% | 21% |
| Fresa (planta) | 366,981,000.00 | 123,954,300.00 | 10% | 0% |
| Caña de azúcar | 101,790,629.47 | 50,499,264,762.76 | 3% | 8% |
| Crisantemo | 97,511,582.80 | 11,214,811,314.14 | 3% | 2% |
| Alfalfa verde | 81,115,298.57 | 44,152,161,321.25 | 2% | 7% |
| Rosa | 72,644,592.63 | 7,429,630,878.98 | 2% | 1% |
| Geranio | 64,316,927.83 | 547,110,317.92 | 2% | 0% |
| Aster | 62,093,738.00 | 602,822,897.67 | 2% | 0% |
| Plantero de tabaco | 40,752,535.00 | 8,678,733.55 | 1% | 0% |
| Maíz forrajero en verde | 33,346,509.72 | 15,066,543,366.99 | 1% | 2% |
| TOTAL | 3,149,962,473.17 | \$ 164,431,568,719.37 | 87% | 42% |

Fuente: SIAP, 2018.

En cuanto al análisis de la productividad total de la región Pacífico Norte y Lerma-Santiago Pacífico, en esta última se obtuvieron datos importantes, alrededor de 13 mil pesos por cada m³ de agua utilizada para el riego de los productos, así mismo percibió más de 35 mil pesos por hectárea, se produjeron 75 toneladas por cada m³ de agua, el valor de la tonelada de producción agrícola fue de \$174.59; en cambio, Pacífico Norte utilizó más de 8 m³ de recurso hídrico para 1 ha, y obtuvo alrededor de 245 toneladas por hectárea. Por tanto, Lerma-Santiago-Pacífico se considera una región con mayor ganancia monetaria en su productividad, como se aprecia en la Tabla 4-8.

Tabla 4-8 Productividad con todos los productos en la RHA Pacífico Norte y Lerma-Santiago-Pacífico (2003-2017)

| Región Hidrológica Administrativa (RHA) | \$/m ³ | \$/ha | Ton/m ³ | \$/ton | m ³ /ha | Ton/ha |
|---|-------------------|--------------|--------------------|-----------|--------------------|--------|
| Pacífico Norte | \$ 3,742.57 | \$ 32,114.33 | 28.63 | \$ 130.72 | 8.58 | 245.66 |
| Lerma-Santiago-Pacífico | \$ 13,098.44 | \$ 35,353.80 | 75.02 | \$ 174.59 | 2.70 | 202.50 |

Fuente: SIAP, 2018.

En la Tabla 4-9 se observa el comportamiento de los 10 productos con mayor producción y mayor valor monetario para ambas regiones, se tiene que Lerma-Santiago-Pacífico obtuvo mayor ganancia en el uso del agua para riego, así como, mayor ganancia por hectárea, se obtuvieron 75 toneladas por m³ de agua utilizado, requirió alrededor de 13 ha por m³ de recurso hídrico. Además, de repuntar con 1000 toneladas por ha. Para el caso de Pacífico Norte figuro con \$368.66 por tonelada.

Tabla 4-9 Productividad con los 10 productos con mayor producción y su valor en la RHA Pacífico Norte y Lerma-Santiago-Pacífico (2003-2017)

| Región Hidrológica Administrativa (RHA) | \$/m ³ | \$/ha | Ton/m ³ | \$/ton | m ³ /ha | Ton/ha |
|---|-------------------|--------------|--------------------|-----------|--------------------|---------|
| Pacífico Norte | \$ 2,992.60 | \$ 35,823.02 | 8.12 | \$ 368.66 | 11.97 | 97.17 |
| Lerma-Santiago-Pacífico | \$ 3,916.34 | \$ 52,456.56 | 75.02 | \$ 52.20 | 13.39 | 1004.89 |

Fuente: SIAP, 2018.

La región Lerma-Santiago-Pacífico tiene 20 millones más de habitantes y más territorio destinado a la producción agrícola, está conformado por 215 municipios, de los cuales 109 municipios se encuentran totalmente dentro de la cuenca y el resto parcialmente, es una región muy productiva pero con un valor muy bajo de su producción, además, presenta menos variación de sustentabilidad hídrica (0.04%), por lo cual, tiene más oportunidad de estabilizar el sistema de producción en comparación con Pacífico Norte (0.24%) es un esquema más complicado para garantizar la producción de esta región (CONEVAL, 2015). Entendiendo la implicación a la que puede derivarse con base al análisis de la dependencia de la producción agrícola en México con relación al recurso hídrico, en este apartado, donde se ha comparado a dos regiones hidrológicas, puede apreciarse la utilidad práctica de la investigación, por lo que el desarrollo de análisis comparativos puede resultar en investigaciones complementarias. Al término de esta investigación se procede a exponer las conclusiones y propuestas.

Conclusiones y propuestas

Con base en la investigación desarrollada se ha observado que existe una dependencia entre la producción agrícola de riego en México y la disposición del recurso hídrico para tal propósito; con la información respectiva de las 13 cuencas hidrológicas del país, se construyó una base de datos que permitió el análisis desarrollado a través del modelo de datos de panel; esto integrando la información disponible del periodo 2003 a 2017 a partir de fuentes oficiales.

Se ha contestado la pregunta de investigación aseverando que el grado de dependencia de la producción agrícola de riego en México con respecto al recurso hídrico es de 88%, apreciando que el fenómeno planteado parte de un supuesto expuesto como: todos los cultivos requieren una cantidad de agua homogénea en el periodo observado de 2003 a 2017, dicho supuesto necesario de exponer dada la limitación y falta de información oficial, científica y fiable de datos desagregados por cada tipo de cultivo.

El objetivo de la investigación se cumple al momento de determinar el grado de la dependencia de la producción agrícola con respecto a la seguridad hídrica, sin embargo se detectaron fenómenos no observados inicialmente y que influyen en la exposición del modelo, siendo contemplados como parte integrada en el error observado por la función estadística utilizada, tales fenómenos son por ejemplo el tipo de suelo, los fertilizantes utilizados, técnicas empleadas, entre otros como los subsidios al campo y fenómenos sociales complejos, mismos que son retomados por la función matemática empleada como parte del cálculo del término del error, error compuesto por los efectos no observados en el estudio, los efectos no cuantificables y el error puramente aleatorio.

La existencia de la dependencia expuesta a través de los datos estadísticos arrojados por el modelo en manejo trabajado como “*Pool EGLS (Cross section weights)*” y mediante el software de análisis estadístico *Eviews 9.5 student version*, permitió la prueba de hipótesis arrojando un estadístico Durbin Watson de 1.8, lo cual expone que el modelo no está auto correlacionado, por lo que la correlación entre las variables no implica sesgo, es decir, el modelo es confiable y adecuado para explicar el fenómeno

planteado. Adicionalmente se obtuvo un factor R^2 de 87%, lo cual implica que el modelo explica la relación de la dependencia de la producción agrícola de riego con respecto al recurso hídrico usado y reportado históricamente en las estadísticas agrícolas de la dependencia gubernamental encargada de la vigilancia del uso de tal recurso en México (CONAGUA). Los coeficientes obtenidos (estadístico t) expusieron que los resultados en cada organismo de cuenca son significativos, exponiendo en esta investigación una congruencia entre la información ingresada para el análisis y los resultados reportados.

La utilidad del marco teórico en este proyecto de investigación fue adecuada, permitiendo descubrir los elementos que implican el desarrollo sustentable en relación con el recurso hídrico en México utilizado para la agricultura de riego, así como la necesidad del enfoque de la sustentabilidad implicada en la producción agrícola, siendo que la producción de alimentos asegura la supervivencia de la población, dicha producción requiere de un análisis económico que permita apreciar el desarrollo como una práctica que garantice la sustentabilidad. El análisis del aprovechamiento del recurso hídrico para preservar su disponibilidad futura a fin de prever en el largo plazo la posibilidad de la producción agrícola sustentable resulta prioritario; este aspecto se relaciona con las propiedades implícitas en la política pública referente al manejo de aguas, así como la producción alimentaria y agrícola.

El efecto planteado inicialmente como las implicaciones derivadas del cambio climático, son relevantes dado que dicho cambio en la realidad ha venido afectando a diferentes sectores de la economía local y nacional. Uno de los efectos más relevantes identificados en los estudios y referencias planteadas en el capítulo uno es tocante a las alteraciones de los patrones hidrológicos, por lo que su abordaje resulta pertinente dado que dichos patrones están relacionados con la disponibilidad del recurso hídrico, el acceso al agua y por ende a la cuestión alimentaria de la población, misma que de no atenderse resulta vulnerada por el cambio climático.

Un aspecto identificado como relevante en la investigación es el relacionado a la falta de homogeneidad en la fertilidad de los suelos, siendo que factores como la temperatura, la humedad, las concentraciones de minerales y nutrientes en el campo

agrícola pueden ser ventajas o desventajas en la producción de alimentos frente a los efectos del cambio climático, ya que dicho cambio puede alterar dramáticamente los ciclos hidrológicos provocando climas extremos, inestables y variables, por lo que con base en la construcción de información realizada, las hectáreas y volúmenes siniestrados en un futuro pueden incrementarse, de no realizarse una valoración sobre los efectos del cambio climático en la seguridad hídrica esperada en México para las próximas décadas.

Es relevante exponer en esta investigación que ha sido identificado que tanto la producción agrícola como la distribución del agua (por causas naturales) serán impactadas por el cambio climático, como se ha venido observando en los estudios e investigaciones recientes (expuestas en el capítulo uno), dichos efectos se manifestarán con altas temperaturas y un suministro de agua variable, menos eficiente y fiable, lo cual derivará en problemáticas implicadas primordialmente en la actividad de los pequeños productores, especialmente aquellos que subsisten en zonas áridas, semiáridas en las latitudes bajas de México. Por ello, se especula que el rendimiento de los cultivos pueda ser afectado por la inestabilidad del ciclo hidrológico, así mismo, el incremento de la variabilidad de precipitaciones y de las sequías mermará el potencial del sector agrícola en México, por lo que es necesario, a partir de la visión que genera esta investigación, insistir en el fortalecimiento del plan de contingencias frente a los efectos del cambio climático y su impacto en la seguridad alimentaria del país, dicho plan puede bien incurrir en una política de importación de alimentos sustitutos, o de fomento a la producción interna de los productos requeridos por la población, habiendo sido identificado en el estudio de investigación una tendencia a la producción para exportación, además un cambio en la prioridad de producción, transitando de productos para el consumo humano a forrajes para el sector ganadero.

Derivado de la política económica de México referente al libre comercio, los alimentos y la producción agrícola han tenido una sobrevaloración de aquella producción destinada a la exportación, efecto lógico dado su valor de mercado, disminuyendo el interés en el cultivo de productos agrícolas de riego relacionados al consumo de la población mexicana, esta estructura política y tendenciosa a favorecer a los grandes productores no beneficia a la producción agrícola de México en relación al

comportamiento que tipifica a México como un Estado dependiente de alimentos provenientes de otras naciones.

El desarrollo económico que se asimila de dicho comportamiento se ha expuesto como una ventaja macroeconómica, permitiendo a México participar en la exportación de productos relevantes en el mercado internacional; sin embargo cabe resaltar que en contraste, como se expone en el capítulo cuatro, las zonas de Pacifico Norte y Lerma Santiago Pacifico, son similares en el cambio porcentual de uso de agua, sin embargo prevalece un fenómeno de pobreza y de carencias alimentarias, dicha información al ser cruzada con los valores y volúmenes de producción agrícola, además de las carencias sociales, exponen que los fenómenos sociales, agrícolas y naturales están siendo estudiados de manera desarticulada, por lo que con base en esta investigación se propone el desarrollo de estudios transdisciplinarios a fin de lograr una integración de elementos que permitan desarrollar conocimiento académico y propuestas a las políticas a fin de aportar al desarrollo social y económico de México.

La finalidad del estudio ha derivado en entender de qué manera la escasez de agua y la producción agrícola representan un problema desde el aprovechamiento del recurso hídrico frente al cambio climático, adicionalmente a lo expuesto en el párrafo anterior, siendo que la disponibilidad del recurso hídrico es necesaria para la satisfacción de otros sectores como la industria, la minería, el consumo urbano, en si para sobrevivencia de la humanidad. Es necesario plantear la posibilidad de una responsabilidad compartida entre los diversos sectores a fin de privilegiar el uso del recurso para la reproducción de la vida de la población frente a los requerimientos extractivos que se traducen en fenómenos no contemplados en esta investigación, pero contruidos en la teoría (tales fenómenos abordados por los desarrollos teóricos como la huella hídrica y la transferencia hídrica en la producción o agua virtual).

La desigualdad en la distribución del agua de manera natural obedece a los efectos climatológicos, geológicos, geográficos, ambientales y sociales; la región norte resulta ser mayormente vulnerada por sequías prolongadas, mientras que la región sur es impactada por inundaciones y lluvias torrenciales, ambos efectos impactan la

productividad incrementando las hectáreas siniestradas, adicionalmente la distribución del líquido corre a través de sistemas contaminados, ya que ríos y lagos son utilizados como centros de descarga de residuos urbanos e industriales, mismos que se integran el sistema de riego cuando se carece de la vigilancia y control al respecto, derivando problemas de salud y de calidad en la producción.

La dualidad cuantitativa-explicativa de la investigación ha permitido ir más allá de la obtención de datos estadísticos, de esta manera la utilidad del grado de dependencia de la seguridad alimentaria con respecto a la seguridad hídrica fue posible aterrizarla en la dimensión referente a la producción agrícola de riego en México, permitiendo observar en este proyecto la gran diversidad de productos que el país genera y se asimila necesario un análisis sobre los hábitos de consumo que permitan evaluar la pertinencia de producción en pro de la garantía de la seguridad alimentaria del mexicano promedio, del mexicano habitante rural y de los habitantes urbanos.

El modelo de datos panel como análisis de regresión lineal dio pie la valoración de los 13 organismos de cuenca instituidos en México por CONAGUA, esto a través de 15 años de análisis, cruzando dos elementos derivados del análisis teórico (producción agrícola y recurso hídrico); dicha integración es una propiedad de los modelos de datos de panel, ya que este modelo de regresión lineal permite precisamente analizar el comportamiento de un fenómeno a través de series de tiempo. Dentro de los resultados estadísticos se tienen el factor de correlación y de determinación. Los resultados son relevantes al haber permitido con base a la observación estadística del fenómeno, identificar los organismos de cuenca con mayor correlación entre la producción agrícola con respecto al uso del recurso hídrico; partiendo de esto se expuso en consecuencia la necesidad de utilizar el criterio construido en la investigación para la toma de decisiones y el desarrollo de casos de estudio particulares, siendo así dialécticamente necesario el contraste de la tesis desarrollada en esta investigación con casos particulares observados a través de información complementaria, tal como los factores de vulneración social, de sustentabilidad hídrica, valor de la producción agrícola, entre otros que sirven de pie al desarrollo de investigaciones sobre casos particulares una vez expuestos los resultados del estadístico t obtenido en esta investigación.

Los objetivos del desarrollo sostenible son un compromiso del Estado mexicano, de la población y de las naciones que se han dado cuenta de la necesidad de atender los temas de sustentabilidad desde la planeación del desarrollo, la pertinencia de esta investigación en el marco del Doctorado en Ciencias en Desarrollo Sustentable radica en la identificación de la práctica que ha prevalecido en México de una ineficiencia y desperdicio del recurso hídrico en el campo; partiendo de la necesidad de cubrir los requerimientos de la población y de satisfacer las actuales sin vulnerar las posibilidades de futuras generaciones, siendo el recurso hídrico un factor determinante.

La producción de alimento resulta implicada en la sustentabilidad de los procesos de producción, del aprovechamiento de los recursos implicados en su desarrollo como sector productivo económico y social, a fin de garantizar la disponibilidad de los alimentos que permitan a la población su subsistencia. Por los factores identificados, expuestos y abordados en esta investigación se expone necesario valorar las perspectivas del sector productivo agrícola, de la seguridad alimentaria en México y de la apropiación de la sustentabilidad como una teoría que permita la construcción de posibilidades de mejorar las condiciones de vida de la población. Por los apuntes expuestos en estas conclusiones se exponen las siguientes recomendaciones:

Establecer un observatorio del comportamiento del uso del agua en el sector agrícola priorizando los mecanismos que permitan evaluar la capacidad de México para asegurar el recurso hídrico para la producción agrícola, a fin de garantizar que el campo mexicano pueda estabilizar la producción de alimentos necesarios para sus actividades económicas y sociales en el contexto mexicano.

La política agrícola, que ha favorecido la producción de exportación, deberá enfocarse en el productor que requiere de una valoración de su potencial a través de programas que le permitan observar la calidad del suelo cultivable, la calidad del agua destinada a su riego, el uso y aprovechamiento de fertilizantes, pesticidas y nutrientes vegetales, mejores prácticas y técnicas de riego; esto previendo un enfoque en el uso sustentable del agua, el mejoramiento de semillas entre otros factores que le permitan un mejor desempeño local para contrarrestar las grandes diferencias regionales.

Siendo que el sector agrícola demanda una cantidad de agua relevante en comparación con otras actividades económicas, es necesario generar inversión pública y privada en el desarrollo de infraestructura y tecnología que permita el riego eficiente, y por ende un mejor aprovechamiento y aseguramiento de la disponibilidad del agua para la vida de la población.

La priorización de la producción para exportación deberá ser sujeta de una valoración en la hechura de políticas que privilegien el entorno local, factor que ha tenido resultados en otros países, permitiendo así una reapropiación local de la actividad agrícola para la seguridad alimentaria de las comunidades relacionadas con los índices de marginación y vulneración alimentaría.

La generación del conocimiento construido a partir de esta investigación se pretende sirva como referente al desarrollo de futuros proyectos y propuestas de política pública, habiéndose fundamentado la pertinencia, utilidad y relevancia de las variables observadas para la publicación de esta tesis que se resume en el hecho de la existencia de una dependencia de la producción agrícola con respecto a la seguridad hídrica, misma seguridad que representa una responsabilidad compartida entre los diferentes actores y usuarios del agua en México.

Referencias

- Agüero, J.C. y León, N J. (2010). *Reparto agrario e institucionalización de la organización campesina*. Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz: II Patrimonio Histórico, coordinado por Enrique Florescano y Juan Ortiz, 191-198.
- Alimonda, H. (2011). *La naturaleza colonizada, ecología política y minería en América Latina*. Argentina: Buenos Aires. 331.
- Animesh, K.G., Giupponi, C. y Wada, Y. (2016). *Measuring global water security towards sustainable development*. Environmental Research Letters. 11(12), 2-13.
- Armenta-Faire, L. De la Cruz-Gallegos, J.L. y Lagunes-Toledo, L.A. (2001). *Modelo de análisis y prospectiva económica aplicada MAPEA*. Trillas. España.
- Arreguín, C. F. I. (2018). *Seguridad hídrica. Programa estratégico institucional de innovación científica y tecnológica*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Ávila, P. (2008). *Vulnerabilidad socioambiental, seguridad hídrica y escenarios de crisis por el agua en México*. Ciencias, 46-57.
- Barta, A. (2009). *La gran crisis*. Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales, 191-202.
- Baronio, A., y Vianco, A. (2014). *Datos de panel. Guía para el uso de Eviews*. Departamento de Matemática y Estadística de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Río Cuarto, 1-24.
- Barrett, C. B. (2002). *Food security and food assistance programs*. Handbook of agricultural economics, 2, 2103-2190.
- Bifani, P. (1994) *Competitividad, medio ambiente y empleo*. En *Mercado ambiental y creación de empleo*. Fund. Friederich Ebert, Madrid, España
- Bioetica Press. (2016). www.observatoriobioetica.org/categoria/provida-press. Obtenido de www.observatoriobioetica.org/categoria/provida-press.
- Brundtland, G. H. (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press. Madrid Alianza.
- Bunge, M. (1960). *La ciencia, su método y su filosofía*, 11-16.
- Cabrera, S. (2015). *Las reformas en México y el TLCAN*. Revista Problemas del Desarrollo, 77-101.

- Calva, J.L. (1999). *El papel de la agricultura en el desarrollo económico de México: retrospectiva y prospectiva. Problemas del Desarrollo*. Revista Latinoamericana de Economía. 30(118).
- Calow, R. y Tucker, J. (2013). *Achieving water security. Lesson form research in water supply, sanitation and higiene in Ethiopia*. Developments Institute. Londres.
- Cantú, P. (2014). *Sustentabilidad ecológica*. Ciencia UANL, 31-36.
- Cantú-Martínez, P.C. (2012). *El axioma del desarrollo sustentable*. Revista Ciencias Sociales Percepciones sobre medio ambiente. No. 137, 83-91.
- Cambreros, M. (2000). *La seguridad alimentaria de México en el año 2030*. Ciencia ergo sum, 49-55.
- Capra, F. (1996). *La trama de la vida*. Anagrama Barcelona, 179.
- Cardozo, C. (2014). *Cambio climático y agrobiodiversidad*. Revista Colombiana Investigaciones agroindustriales, 72-79.
- Castaño, Y. (2014). *Estrategias de fomento y desarrollo de la actividad agropecuaria durante el sexenio cardenista. El papel desempeñado por el Banco Nacional de Crédito Ejidal, 1934-1940*. Revista Secuencia, 120-140.
- Chiriboga, V. y Piñeiro, M. (2009). *Instituciones y organizaciones para la seguridad alimentaria*. Santiago, Chile: FAO.
- Cline, W. (2007). *Global warming and agriculture*. USA: Peterson Institute for International Economics.
- CONAGUA. (2011). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____ (CONAGUA). (2015). *Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía en la cuenca Lerma-Chapala* CONAGUA.
- _____ (2016). *Estadísticas del agua en México*. México. CONAGUA.
- _____ CONAGUA. (2017). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____ CONAGUA. (2018). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____ CONAGUA. (2017). *Estadísticas del agua en México*. México: CONAGUA.
- _____ CONAGUA. (2018). *Estadísticas del agua en México*. México: CONAGUA.
- Consejo Nacional de Población. (CONAPO). (2018). www.gob.mx/conapo.

- Conde-Álvarez, C. y Saldaña-Zorilla, S. (2007). *Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación*. Ambiente y Sociedad, 23-30.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (CONEVAL). (2015). *10 años de medición de la pobreza en México, avances y retos en política social*. <https://www.coneval.org.mx>
- Constanza, R., Cumberland, D., Goodland y Norgaard. (1999). *Una introducción a la economía ecológica*. México: CECSA.
- Cotler, A., Mazari, H., y De Anda, S. (2006). *Atlas de la cuenca Lerma-Chapala construyendo una visión conjunta*. INE-SEMARNAT. 198.
- Cruz-Gutiérrez, F.V., Magaña-Zamora, J.D., y Hernández-Gen, J. (2015). *Metodología para estimar el uso eficiente del agua en actividades agrícolas*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Cuéllar, J. (2011). *Programa de seguridad alimentaria: experiencias en México y otros países*. CEPAL.
- Curiel, R. (2013). *MasAgro por la seguridad alimentaria y el desarrollo agrícola sustentable en México*. Claridades Agropecuarias, 9-18.
- Daily, C. (1997). *Nature's services: societal dependence on ecosystem services*. Washington.
- De Grammont, H. C. (2004). *La nueva ruralidad en América Latina*. Revista mexicana de sociología, 66(1), 279.
- De La Convención, P. D. K. (1998). *Marco de Las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. Naciones Unidas, 25, 27.
- Delgado Wise, R. y Mañán, García, O. (2005). *Migración México-Estados Unidos e integración económica*. Política y cultura, 9-23.
- Diario Oficial de la Federación. (DOF). (2012). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. <https://www.dof.gob.mx/>
- Díaz-Fernández, M. y Llorente-Marrón, M. (2007). *Econometría*. Ediciones Pirámide.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1983). *World food security: a reappraisal of the concepts and approaches*. Director general's report, Rome.
- _____ FAO. (1996). *Necesidades de alimentos y crecimiento de la población*. Documentos Básicos. Roma: Cumbre Mundial sobre la Alimentación. Roma.
- _____ FAO. (2002). www.fao.org. Obtenido de www.fao.org.
- _____ FAO. (2006). *Seguridad alimentaria*.

- _____. FAO. (2013). *Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en México 2012*.
- _____. FAO. (2014). *Fortalecimiento de un entorno favorable para la seguridad alimentaria y la nutrición*.
- _____. FAO. (2017). *www.fao.org*. Obtenido de www.fao.org.
- Foladori, G. y Pierre, N. (2005). *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*. México. Porrúa.
- Foladori, G. y Tommasino, H. (2000). *El concepto de desarrollo sustentable treinta años después*. *Desenvolvimiento e Meio Ambiente*, 41-56.
- García, R. (2011). *Interdisciplinarietà y sistemas complejos*. *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*, 1(1), 66-101.
- Garza, E. G. (2007). *De las teorías del desarrollo al desarrollo sustentable. Historia de la construcción de un enfoque multidisciplinario*. *Trayectorias*, 9(25), 45-60.
- Gil Corrales, M. (2007). *Crónica Ambiental*. Fondo de Cultura Económica. México.
- González, J. (2008). *Un marco de adaptación al cambio climático a nivel local para la región Latinoamericana*. *Virtual REDESMA*, 9.
- González-Villarreal, F., y Domínguez-Mares, M. (2017). *Los retos de la seguridad hídrica en México*. México: Gaceta del Instituto de Ingeniería. UNAM, 1(128), 4-5.
- Guerrero-García-Rojas, H., Yúñez-Naude, A. y Medellín-Azuara, J. (2002). *El agua en México: consecuencias de las políticas de intervención en el sector*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Guerrero, H. (2005). *Industrial water demand in Mexico: econometric analysis and implications for water management policy*. These pour le doctorat en Sciences Economiques, Université de Toulouse, France, 205.
- Guerrero, H.G.R. (2019). *Water policy in México. Economic, Institutional and Environmental Considerations*. Springer International Publishing. 336.
- Global Water Partnership (GWP). (2000). *Towards water security: a framework for action*. Estocolmo.
- Greene, W. H. (2008). *The econometric approach to efficiency analysis. The measurement of productive efficiency and productivity growth*, 1(1), 92-250.
- Grey, D. y Sadoff, C. (2007). *Sink or swim? Water security for growth and development*. *Water policy*, 545-571.
- Gujarati, D. (2010). *Econometría*. Colombia: McGraw Hill.

- Gutiérrez, G. (2008). *De las teorías del desarrollo al desarrollo sustentable: Historias de la constitución de un enfoque multidisciplinario*. Ingenierías, 11(39), 21-35.
- Hansen, R.D. (1980). *La política del desarrollo mexicano*. México: Siglo XXI.
- Hernández Laos, E. (1992). *Crecimiento económico y pobreza en México*. México: UNAM.
- Huerta, A. (1991). *Economía mexicana más allá del milagro*. México: Diana.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. INEGI. (2016). México.
 _____ INEGI. (2017). México.
- IPCC-WGI. (2007). *Contribution to the intergovernmental panel on climate change fourth assessment report I climate change 2007*. The physical science basis.
- IPCC. (2014). *Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the governmental panel on climate change*.
- Jiménez-Cisneros, B. (2015). *Seguridad hídrica: retos y respuestas, la fase VIII del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (2014-2021)*. Agua-LAC. 20-27.
- Johansen, O. (2004). *Introducción a la teoría general de sistemas*. México: Limusa.
- Landa, R., Ávila, B. y Hernández, M. (2010). *Cambio climático y desarrollo sustentable para América Latina y el Caribe*. Conocer para comunicar. 143.
- Larqué, A. (2013). *Seguridad alimentaria en México, "Todos contra el hambre"*. Ciencia, 62-67.
- Leff, E. (2007). *Ecología y Capital*. México: Siglo XXI.
- Macip-Ríos, R. y Espinosa-Santiago, O. (2014). *Problemas ambientales asociados al desarrollo*. Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Maguey, H. (2018). *Más de 80% del agua se va en uso agrícola y la industria*. Gaceta UNAM. 5004.
- Malthus, T. (1951). *Ensayos sobre la población*. Las citas de este trabajo corresponden a la versión castellana de la Editorial Fondo de Cultura Económica, México.
- Martínez-Allier, J. y Schlüpmann, K. (1991). *La ecología y la economía*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Martínez-Austria. (2013). *Los retos de la seguridad hídrica*. Tecnología y ciencias del agua, 165-180.
- Martínez-Castillo, R. (2009). *Sistemas de producción agrícola sostenible. Tecnología en Marcha*, 22(2), 23-39.

- Mason, N., y Calow, R. (2012). *Water security: from abstract concept to meaningful metrics*. An Initial Overview of Options (Overseas Development Institute London 2012).
- Max-Neef, M. (2005). *Fundamentos para un enfoque transdisciplinario*. Ecología económica, 5-16.
- Mejía-Sáenz, E, Palacios-Vélez, E., Exebio-García, A. y Santos-Hernández, A.L. (2002). *Problemas operativos en el manejo del agua en distritos de riego*. Terra Latinoamericana, 217-225.
- Naredo, J. (1996). *Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible*. Textos sobre sostenibilidad, 7-18.
- Norman, E., Bakker, K., Cook, CH., Dunn, G., y Allen, D. (2010). *La sécurité hydrique: Guide d'introduction, élaboration d'un cadre stratégique en matière de Sécurité Hydrique au Canada comme outil d'amélioration de la gouvernance de l'eau des bassins versants (2008-2012)*. Canada.
- Norzagaray Campos, M., García Gutiérrez, C., Llanes Cárdenas, O., Troyo Diéguez, E. y Muñoz Sevilla, P. (2010). *Análisis de la producción agrícola extensiva en Sinaloa: Alternativas para el uso sostenible del agua*. Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable Ra Ximhai, 6(1), 45-50.
- Novales, A. (2010). *Análisis de regresión*. España. Universidad Complutense.
- O'Connor, J. (2001). *Causas naturales*. México: Siglo XXI.
- Olabe, A. y González, M. (2008). *Cambio climático, una amenaza para la seguridad global*. Política exterior, 175-185.
- ONU-Agua. (2013). *Water security and the global water agenda*. Estados Unidos de América: United Nation University.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (OCDE). (2013). *Water security for better lives. A summary for policymakers*. OCDE: Studies on water.
- Ortiz Gómez, A. S., Vázquez García, V. y Montes Estada, M. (2005). *La alimentación en México: enfoques y visión a futuro*. Revista Estudios Sociales, 9-32.
- Ostrom, E. (2000). *Social capital: a fundamental concept*. 195-98.
- Patiño-Gómez, M. (2011). *Atlas de vulnerabilidad hídrica de México ante el cambio climático*. México: IMTA.
- Peña, H. (2016). *Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas, 57.
- Piñeiro, M. (2012). *Las relaciones entre seguridad alimentaria, cambio climático y comercio internacional*. Serie seguridad alimentaria, 16.

- Provencio, E. y Carabias, J. (1992). *El desarrollo sustentable: ¿Alternativa para América Latina?* Revista Problemas del Desarrollo, 15-26.
- Ramírez-Treviño, A., Sánchez-Núñez, J.M. y García Camacho, A. (2003). *El desarrollo sustentable: Interpretación y Análisis*. Revista del Centro de Investigación, 55-59.
- Riechmann, J. (1995). *Desarrollo sostenible: la lucha por la interpretación*. De la economía a la ecología, 1.
- Rodríguez, A. (2007). *Cambio climático, agua y agricultura*. Comunica, 13-23.
- Rubio, B. (8 de mayo de 2008). *La crisis alimentaria y el nuevo orden agroalimentario financiero energético mundial*. La jornada, págs. 43-51.
- Ruiz, C. (2015). *Reestructuración productiva e integración: TLCAN 20 años después*. Problemas del desarrollo, 46(180), 27-50.
- Sachs, I. (1980). *Ecodesarrollo, concepto, aplicación, implicaciones*. México, 718-725.
- Sadoff, C. y Müller, M. (2010). *La Gestión del Agua, la Seguridad Hídrica y la Aplicación al Cambio Climático: Efectos anticipados y respuestas esenciales*. Global Water Partnership. 108.
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Sancho Comins, J. y Muñoz Muñoz, J. (1987). *El regadío en la producción agrícola española*. Anales de Geografía de la Universidad Complutense. No. 7, 355-364.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (SAGARPA). (1994). México.
- _____. SAGARPA. (2015). www.sagarpa.gob.mx. Obtenido de www.sagarpa.gob.mx.
- _____. SAGARPA. (2017). www.sagarpa.gob.mx. Obtenido de www.sagarpa.gob.mx.
- _____. SAGARPA. (2018). www.sagarpa.gob.mx. Obtenido de www.sagarpa.gob.mx.
- Secretaría de Información Agroalimentaria y Pesquera. (SIAP). (2016). www.gob.mx/siap.
- _____. SIAP. (2017). www.gob.mx/siap. Obtenido de www.gob.mx/siap.
- Sosa-Rodríguez F.S. (2015). *Política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos*. Revista realidad, datos y espacio, 4-23.
- Stern, N. (2007). *El informe Stern*. Barcelona: Paidós Ibérica.
- Toledo, V. (1992). *Utopía y naturaleza. El nuevo movimiento ecológico de los campesinos e indígenas de América Latina*. Venezuela: Nueva Sociedad.

- Tommasino, H. (2001). *Sustentabilidad rural: desacuerdos y controversias*. Sustentabilidad, 139-163.
- Torres, F. (2014). *Seguridad alimentaria: Una explicación sobre prevalencia de los desequilibrios en México*. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y urbano. Procuraduría Agraria. 71-97.
- Trenberth, K. y Thomas, K. (2000). *Influencia del hombre sobre el clima*. Investigación y Ciencia, 54-59.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (UNESCO). (2013). *International Hydrological Programme (IHP) eighth phase: Water security: responses to local, regional and global challenges (2014-2021)*.
- Urquía-Fernández, N. (2014). *La seguridad alimentaria en México*. Salud Pública de México, 92-98.
- Vargas, A. (2007). *Cambio climático, agua y agricultura*. Comunica, 13-23.
- Vázquez-Pallares, N. (1981). *El ejido de Lázaro Cárdenas. Problemas del Desarrollo*. Revista Latinoamericana de Economía, 11(44).
- Vega, D., Rojas, H. y Villalpando, E. (2004). *El aprovechamiento irracional del agua en la industria mexicana: análisis comparativo de los principales sectores industriales por RHA*. México.
- Wheeler, T. y Braun, J. (2013). *Climate change impacts on global food security*. Science, 508-514.
- World Economic Forum. (WEF). (2009). *Managing our future water needs for agriculture, industry, human health and the environment*.
- Wooldridge. J. M. (2009). *Introducción a la econometría, un enfoque moderno*. Cengage Learning Editores. México.

Bibliografía

- Arreguín, C. F., López, P. M., Rodríguez, L. O. y Montero, M. M. (2015). *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*. Cuernavaca.
- Caballero, M. (2010). *Estudio de gran visión y factibilidad económica y financiera para el desarrollo de la infraestructura de almacenamiento y distribución de granos y oleoginosas para el mediano y largo plazo a nivel nacional*. México: SAGARPA.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2003). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____ CONAGUA. (2004). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____ CONAGUA. (2005). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____ CONAGUA. (2006). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____ CONAGUA. (2007). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____ CONAGUA. (2008). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____ CONAGUA. (2009). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____ CONAGUA. (2010). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____ CONAGUA. (2011). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____ CONAGUA. (2011). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____ CONAGUA. (2012). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____ CONAGUA. (2013). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.

- _____. CONAGUA. (2014). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____. CONAGUA. (2015). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____. CONAGUA. (2016). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____. CONAGUA. (2016). *Evaluación de diseño del programa infraestructura para la modernización y rehabilitación de riego y temporal tecnificado (K141)*.
- _____. CONAGUA. (2017). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- _____. CONAGUA. (2018). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. México. SEMARNAT.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO). (2000). www.fao.org. Obtenido de www.fao.org.
- _____. FAO y SAGARPA. (1994). *Proyecto Estratégico para la Seguridad Alimentaria (PESA). Evaluación estratégica*. México.
- González, M.P. (2012). *Oferta de consumo responsable en hipermercados de España*.
- Goodland, R. y Daly, H. (1996). *Environmental Sustainability: Universal and Non-Negotiable*. Ecological Applications. Ecological Society of America, 6(4), 1002-1017.
- Guerrero-García-Rojas, H. (2015). *Determinación de la elasticidad precio de la demanda del agua para la industria en México como instrumento de política pública en el uso eficiente del recurso hídrico 2014-2015*. UMSNH.
- Global Water Partnership. (GWP). (2016). *Aumentar la seguridad hídrica, un imperativo para el desarrollo*. Global Canopy Programme.
- Gordillo de Anda, G. (2004). *Seguridad alimentaria y agricultura familiar*. Revista de la CEPAL.
- León, A. S., Ghidaoui, M. S., Schmidt, A. R., y García, M. H. (2010). *A robust two-equation model for transient-mixed flows*. Journal of hydraulic research, 48(1), 44-56.
- Ley de Aguas Nacionales, disponible en: www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_240316.pdf
- Lobell, D. y Burke, M. (2010). *Climate change and food security*. England: Springer.
- Llorente, D. (2007). *Econometría*. México: Ediciones Pirámide.

- Martínez-Austria, P., Delgado Díaz, C., y Moeller Chávez, G. (2017). *Seguridad hídrica en México*. México: Academia de Ingeniería.
- Martínez-Jasso, I. y Villezca-Becerra, P.A. (2005). *La alimentación en México. Un estudio a partir de la encuesta nacional de ingresos y gastos de los hogares de balance alimenticio de la FAO*. Ciencia UANL, 196-208.
- Mekonnen, M. y Hoekstra, A. (2010a). www.waterfootprint.org. *The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products*.
- Mekonnen, M. y Hoekstra, A. (2010b). [www. waterfootprint.org](http://www.waterfootprint.org). *The green, and grey water footprint of farm animals and derived animal products*.
- Mollard, E., Gourhand, N., y Sollicec, E. (2005). *La agricultura de riego: tipología, economía y regionalización*.
- Montes, C. (2007). *Del desarrollo sostenible a los servicios de los ecosistemas*. Ecosistemas, 16(3), 1-3.
- Morelos, B. H. R., Rivera, J., Patiño, C., y Suárez, Á. *Base de datos geográfica de agua superficial en la cuenca Lerma-Chapala*.
- Rodríguez, J.M., Tzatchkov, V., Cortez, P., Sainos, A., Llaguno, G., Sandoval, L. y Navarro, Rubio, B. (2017). *Índices de seguridad Hídrica (ISH)*.
- SAGARPA. (2018). *Decreto del programa sectorial de desarrollo agropecuario, pesquero y alimentario*. México, México: Diario oficial SAGARPA.
- Secretaría de Desarrollo Económico. (SEDECO). (2018). www.sedeco.gob.mx. Obtenido de www.sedeco.gob.mx
- Secretaría de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. (2018). *México produce en promedio 800 kilos de "granos vitales" por habitante arroz, trigo y maíz, las semillas más importantes según la FAO*.
- _____. SIAP. (2018). *Atlas agroalimentario 2012-2018*. México: SAGARPA.
- World Economic Forum. (2000). *Security. The water-food-energy-climates nexus*. London: Island Press.

Anexos

Anexo 1. Matriz de congruencia metodológica

| Matriz de congruencia | | | | | | |
|--|---|--|---|---------------------|---|--|
| Dependencia de la producción agrícola con relación a la seguridad hídrica en México: estudio explicativo de 2003-2017 | | | | | | |
| Planteamiento del problema: Existe una dependencia entre la producción agrícola en México y la seguridad hídrica en las 13 regiones hidrológicas administrativas del año 2003 al año 2017 | | | Fundamento teórico del problema: Sustentabilidad, Producción agrícola, Seguridad hídrica | | | |
| Pregunta de investigación | Objetivo | Hipótesis | Variables | | Marco teórico | Dimensiones |
| GENERAL: a) ¿Cuál es el grado de dependencia de la producción agrícola de riego con respecto a la seguridad hídrica en México de 2003 a 2017? | Determinar el grado de dependencia de la producción agrícola con respecto a la seguridad hídrica en México en el periodo de 2003 a 2017 | Existe una dependencia de la producción agrícola con respecto a la seguridad hídrica en México en el periodo de 2003 a 2017. | Variable dependiente | Producción Agrícola | Norzajarag <i>et al.</i> , 2010 Martínez-Castillo, 2008 Orrantia-Bustos <i>et al.</i> , 2006 Ortega <i>et al.</i> , 2010 | Disponibilidad de alimentos |
| | | | | | | Producción por riego |
| | | | Producción de temporal | | | |
| | | | Variable independiente | Seguridad Hídrica | Jiménez-Cisneros, 2015 Mason y Calow, 2012 Peña, 2016 Arreguin <i>et al.</i> , 2013 Sadoff y Müller, 2010 | 13 Organismos de cuenca Cambio porcentual de 2003 a 2017 Volumen de agua de 2003 a 2017 Periodo de tiempo 15 años |

Anexo 2. Base de datos de los organismos de cuenca de producción agrícola.

| Producción agrícola en miles de ton | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| No. | Organismo de cuenca | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| 1 | Península de Baja California | 3,162.25 | 3,195.60 | 3,591.78 | 3,169.49 | 2,726.90 | 2,106.00 | 4,667.00 | 2,324.00 |
| 2 | Noroeste | 2,827.25 | 2,567.40 | 1,806.35 | 2,579.85 | 3,010.42 | 3,176.00 | 8,499.00 | 3,173.00 |
| 3 | Pacífico Norte | 8,491.68 | 7,384.88 | 8,974.61 | 9,296.33 | 11,084.52 | 12,010.00 | 25,630.00 | 10,460.00 |
| 4 | Balsas | 3,295.62 | 3,796.48 | 3,376.48 | 3,603.14 | 3,482.52 | 3,905.00 | 21,680.00 | 3,308.00 |
| 5 | Pacífico Sur | 459.64 | 447.11 | 463.51 | 457.27 | 498.62 | 470.43 | 32,824.00 | 444.84 |
| 6 | Río Bravo | 1,174.02 | 1,956.23 | 2,271.10 | 2,254.44 | 2,387.67 | 2,827.00 | 12,163.00 | 3,030.00 |
| 7 | Cuencas Centrales del Norte | 325.15 | 835.38 | 1,229.68 | 1,231.42 | 1,256.05 | 1,967.00 | 7,898.00 | 2,305.00 |
| 8 | Lerma-Santiago-Pacífico | 6,390.48 | 6,269.07 | 6,507.34 | 6,365.32 | 6,183.47 | 6,858.00 | 34,533.00 | 6,975.00 |
| 9 | Golfo Norte | 3,855.66 | 4,219.33 | 4,193.62 | 4,568.68 | 4,563.08 | 4,338.00 | 25,564.00 | 4,546.00 |
| 10 | Golfo Centro | 2,204.82 | 2,141.38 | 2,137.75 | 2,677.03 | 2,408.74 | 2,036.00 | 95,866.00 | 2,101.00 |
| 11 | Frontera Sur | 1,154.03 | 1,181.81 | 1,258.24 | 1,213.07 | 1,178.25 | 1,217.00 | 157,754.00 | 1,271.00 |
| 12 | Península de Yucatán | 501.78 | 638.03 | 561.61 | 312.81 | 395.00 | 386.02 | 386.02 | 364.29 |
| 13 | Aguas del Valle de México | 3,110.05 | 3,110.05 | 3,498.50 | 4,053.49 | 3,790.83 | 4,111.00 | 3,513.00 | 3,984.00 |
| | TOTAL | 36,952.43 | 37,742.75 | 39,870.57 | 41,782.34 | 42,966.07 | 45 413 | 46,023.00 | 44 291 |

| Producción agrícola en miles de ton | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| No. | Organismo de cuenca | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
| 1 | Península de Baja California | 2,276.00 | 2,061.54 | 3,738.00 | 3,747.00 | 3,551.00 | 3,656.00 | 3,767.00 |
| 2 | Noroeste | 3,475.00 | 2,959.68 | 3,509.00 | 4,161.00 | 4,098.00 | 4,085.00 | 4,621.00 |
| 3 | Pacífico Norte | 10,441.00 | 8,511.92 | 9,126.00 | 9,548.00 | 9,163.00 | 10,600.00 | 11,615.00 |
| 4 | Balsas | 3,521.00 | 3,658.29 | 3,591.00 | 3,531.00 | 3,599.00 | 4,180.00 | 4,337.00 |
| 5 | Pacífico Sur | 558.35 | 516.10 | 559.97 | 568.32 | 606.96 | 603.15 | 532.00 |
| 6 | Río Bravo | 3,084.00 | 2,883.17 | 4,139.00 | 3,249.00 | 4,078.00 | 4,393.00 | 5,281.00 |
| 7 | Cuencas Centrales del Norte | 1,864.00 | 2,024.34 | 1,894.00 | 1,089.00 | 1,492.00 | 1,271.00 | 1,541.00 |
| 8 | Lerma-Santiago-Pacífico | 5,855.00 | 7,064.63 | 6,815.00 | 7,166.00 | 6,879.00 | 6,667.00 | 7,590.00 |
| 9 | Golfo Norte | 4,264.00 | 4,677.97 | 4,836.00 | 5,060.00 | 4,532.00 | 4,568.00 | 5,322.00 |
| 10 | Golfo Centro | 2,085.00 | 1,968.72 | 2,442.00 | 2,215.00 | 2,324.00 | 2,014.00 | 2,081.00 |
| 11 | Frontera Sur | 1,294.00 | 1,373.26 | 1,592.00 | 1,653.00 | 1,678.00 | 1,692.00 | 1,626.00 |
| 12 | Península de Yucatán | 458.93 | 592.01 | 651.32 | 696.77 | 692.99 | 703.23 | 723.00 |
| 13 | Aguas del Valle de México | 4,190.00 | 4,158.54 | 4,760.00 | 4,344.00 | 4,740.00 | 4,726.00 | 5,083.00 |
| | TOTAL | 43 371.67 | 44,462.00 | 47 657 | 47 033 | 47 440 | 49 165 | 54 118 |

Anexo 3. Base de datos de los organismos de cuenca de volumen de agua.

| Volumen de agua miles m ³ | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| No. | Organismo de cuenca | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| 1 | Península de Baja California | 2,753,912.10 | 2,519,075.50 | 2,519,929.90 | 2,698,006.40 | 2,579,984.87 | 2,745,756.21 | 3,062,663.00 | 2,734,525.00 |
| 2 | Noroeste | 3,891,906.00 | 3,471,229.05 | 3,789,851.10 | 3,901,184.06 | 3,103,366.40 | 3,817,474.35 | 3,865,686.00 | 3,941,163.00 |
| 3 | Pacífico Norte | 7,183,084.15 | 5,827,478.51 | 7,583,028.15 | 9,326,236.74 | 7,964,747.16 | 9,201,693.61 | 9,988,894.00 | 9,811,428.00 |
| 4 | Balsas | 2,470,312.50 | 2,671,483.06 | 2,665,031.58 | 2,155,854.46 | 2,982,711.82 | 2,441,827.83 | 2,433,335.00 | 2,447,925.00 |
| 5 | Pacífico Sur | 47,355.02 | 672,727.40 | 702,733.76 | 543,393.36 | 664,012.77 | 621,205.46 | 526,514.00 | 538,598.00 |
| 6 | Río Bravo | 1,719,884.91 | 1,673,156.13 | 1,263,326.17 | 2,330,446.43 | 2,462,561.16 | 2,530,892.41 | 2,887,549.00 | 3,261,100.00 |
| 7 | Cuencas Centrales del Norte | 757,590.61 | 506,452.00 | 269,025.62 | 1,100,000.00 | 715,126.00 | 945,222.60 | 944,318.00 | 1,023,756.00 |
| 8 | Lerma-Santiago-Pacífico | 2,295,482.07 | 3,108,606.74 | 3,352,960.28 | 2,643,437.51 | 4,082,617.82 | 3,369,729.23 | 3,697,970.00 | 4,141,592.00 |
| 9 | Golfo Norte | 1,627,749.58 | 1,329,135.47 | 1,411,014.86 | 899,082.27 | 1,479,087.86 | 997,541.98 | 1,226,238.00 | 1,520,686.00 |
| 10 | Golfo Centro | 695,370.00 | 746,020.10 | 709,773.60 | 628,317.71 | 760,121.85 | 702,725.09 | 652,664.00 | 796,147.00 |
| 11 | Frontera Sur | 300,258.21 | 364,951.81 | 330,032.20 | 334,104.67 | 333,713.17 | 292,713.71 | 311,336.00 | 353,797.00 |
| 12 | Península de Yucatán | 56,068.08 | 165,324.73 | 141,582.95 | 63,656.45 | 47,841.95 | 46,592.50 | 49,957.00 | 66,068.00 |
| 13 | Aguas del Valle de México | 471,108.80 | 1,273,055.70 | 1,422,562.65 | 1,409,821.38 | 1,401,060.41 | 1,446,697.39 | 1,405,251.00 | 1,581,852.00 |
| | TOTAL | 24,270,082.03 | 24,328,696.20 | 26,160,852.82 | 28,033,541.44 | 28,576,953.24 | 29,160,072.37 | 31 052 373 | 32 218 638 |

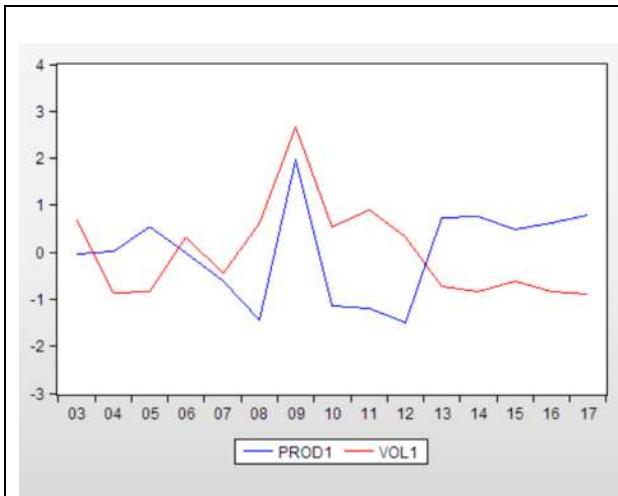
| Volumen de agua miles m ³ | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| No. | Organismo de cuenca | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
| 1 | Península de Baja California | 2,788,587.29 | 2,698,006.00 | 2,536,805.00 | 2,522,946.00 | 2,556,117.00 | 2,523,478.00 | 2,514,878.00 |
| 2 | Noroeste | 4,482,821.05 | 3,901,184.00 | 3,782,110.00 | 3,979,704.00 | 3,932,864.00 | 4,215,129.00 | 4,643,414.00 |
| 3 | Pacífico Norte | 11,855,428.51 | 9,326,237.00 | 5,835,539.00 | 6,786,315.00 | 7,959,800.00 | 8,239,177.00 | 8,936,751.00 |
| 4 | Balsas | 2,407,187.04 | 2,155,854.00 | 2,350,416.00 | 2,199,939.00 | 2,127,182.00 | 2,464,388.00 | 2,632,673.00 |
| 5 | Pacífico Sur | 560,615.98 | 543,393.00 | 616,812.00 | 648,446.00 | 593,693.00 | 507,140.00 | 426,715.00 |
| 6 | Río Bravo | 3,589,010.90 | 2,330,446.00 | 3,137,856.00 | 2,212,884.00 | 2,311,167.00 | 1,894,079.00 | 2,434,591.00 |
| 7 | Cuencas Centrales del Norte | 1,148,518.31 | 1,100,000.00 | 956,546.00 | 600,000.00 | 796,105.00 | 793,231.00 | 799,620.00 |
| 8 | Lerma-Santiago-Pacífico | 3,847,859.11 | 2,643,438.00 | 2,846,355.00 | 2,848,743.00 | 2,986,811.00 | 2,995,256.00 | 3,154,662.00 |
| 9 | Golfo Norte | 1,437,933.25 | 899,082.00 | 1,050,696.00 | 1,356,309.00 | 790,782.00 | 770,146.00 | 1,115,336.00 |
| 10 | Golfo Centro | 724,465.45 | 628,318.00 | 638,216.00 | 581,063.00 | 536,219.00 | 554,354.00 | 624,399.00 |
| 11 | Frontera Sur | 339,663.72 | 334,105.00 | 350,154.00 | 353,603.00 | 338,258.00 | 347,168.00 | 334,419.00 |
| 12 | Península de Yucatán | 80,684.11 | 63,656.00 | 71,534.00 | 87,882.00 | 72,940.00 | 85,289.00 | 78,346.00 |
| 13 | Aguas del Valle de México | 1,513,545.04 | 1,409,821.00 | 1,503,285.00 | 1,432,802.00 | 1,493,910.00 | 1,430,214.00 | 1,521,318.00 |
| | TOTAL | 34,776,319.76 | 28 033 541 | 25 676 323 | 25 610 636 | 26 495 847 | 26 819 050 | 29 217 120 |

Anexo 4. Modelo econométrico.

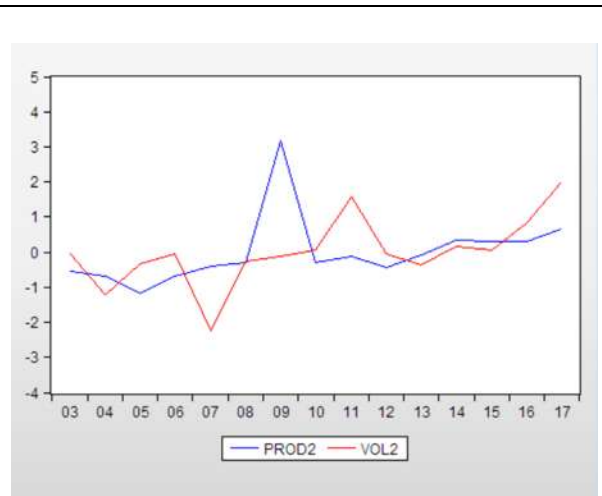
Función estimada:

| Dependent Variable: LOG(PROD?) | | | | |
|---|-------------|--------------------|-------------|--------|
| Method: Pooled EGLS (Cross-section weights) | | | | |
| Date: 02/18/19 Time: 17:15 | | | | |
| Sample: 2003 2017 | | | | |
| Included observations: 15 | | | | |
| Cross-sections included: 13 | | | | |
| Total pool (balanced) observations: 195 | | | | |
| Linear estimation after one-step weighting matrix | | | | |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
| C | 2.766550 | 1.135115 | 2.437241 | 0.0158 |
| 1--LOG(VOL1) | 0.356435 | 0.076880 | 4.636241 | 0.0000 |
| 2--LOG(VOL2) | 0.353881 | 0.075015 | 4.717499 | 0.0000 |
| 3--LOG(VOL3) | 0.406745 | 0.071393 | 5.697285 | 0.0000 |
| 4--LOG(VOL4) | 0.377676 | 0.077635 | 4.864788 | 0.0000 |
| 5--LOG(VOL5) | 0.285451 | 0.089044 | 3.205742 | 0.0016 |
| 6--LOG(VOL6) | 0.361441 | 0.077897 | 4.639968 | 0.0000 |
| 7--LOG(VOL7) | 0.334941 | 0.084416 | 3.967742 | 0.0001 |
| 8--LOG(VOL8) | 0.410861 | 0.076186 | 5.392830 | 0.0000 |
| 9--LOG(VOL9) | 0.412779 | 0.081709 | 5.051795 | 0.0000 |
| 10--LOG(VOL10) | 0.386406 | 0.086786 | 4.452391 | 0.0000 |
| 11--LOG(VOL11) | 0.375087 | 0.092740 | 4.044504 | 0.0001 |
| 12--LOG(VOL12) | 0.311096 | 0.101378 | 3.068669 | 0.0025 |
| 13--LOG(VOL13) | 0.392379 | 0.080457 | 4.876901 | 0.0000 |
| Weighted Statistics | | | | |
| R-squared | 0.880121 | Mean dependent var | 14.14958 | |
| Adjusted R-squared | 0.871511 | S.D. dependent var | 9.941574 | |
| S.E. of regression | 0.636285 | Sum squared resid | 73.27951 | |
| F-statistic | 102.2200 | Durbin-Watson stat | 1.814880 | |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | | | |
| Unweighted Statistics | | | | |
| R-squared | 0.644582 | Mean dependent var | 7.931422 | |
| Sum squared resid | 73.39580 | Durbin-Watson stat | 2.181118 | |

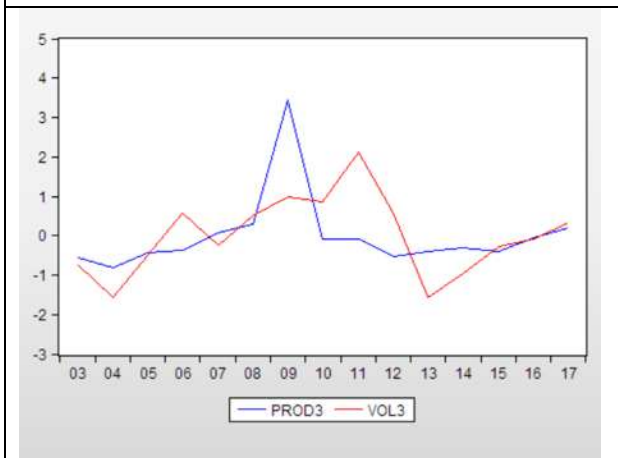
Anexo 5. Figuras de la producción con respecto al volumen de agua utilizado por organismo de cuenca.



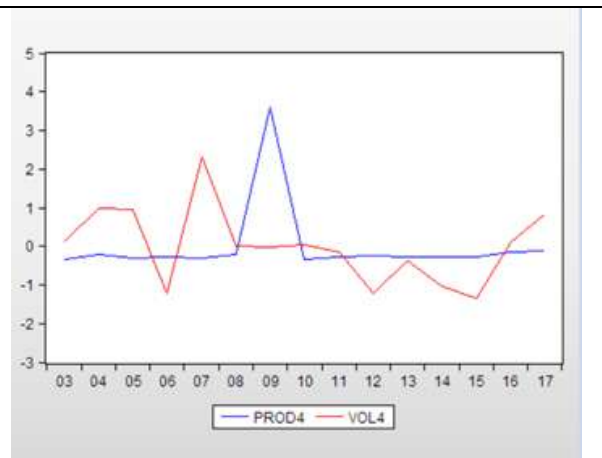
Grafica 1. Península de Baja California



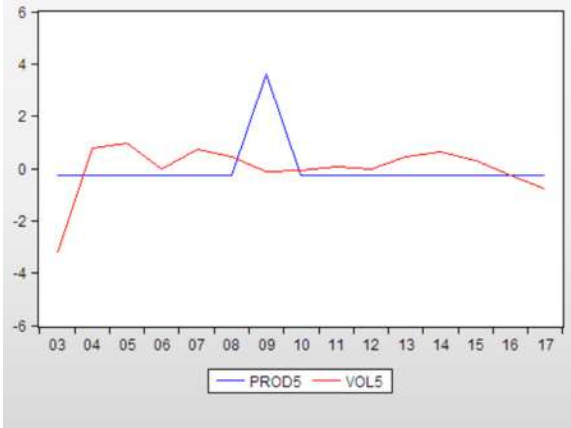
Grafica 2. Noroeste



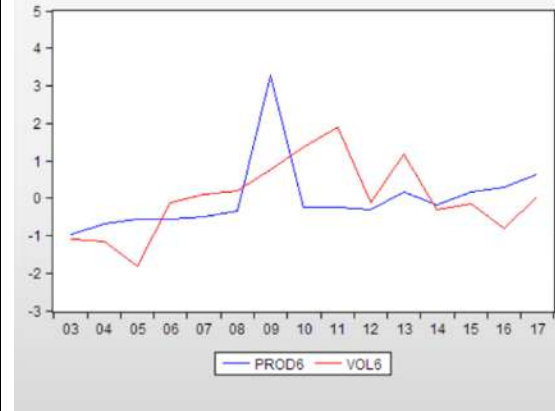
Grafica 3. Pacífico Norte



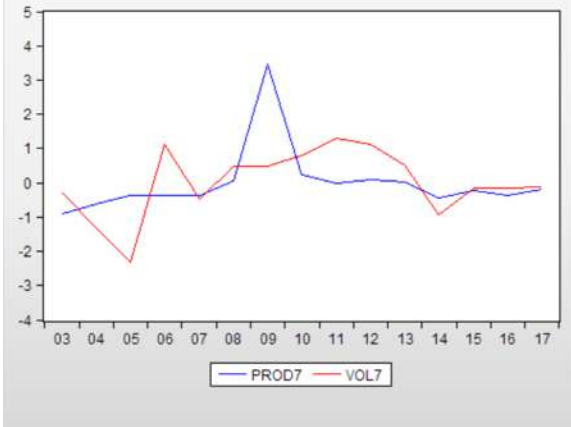
Grafica 4. Balsas



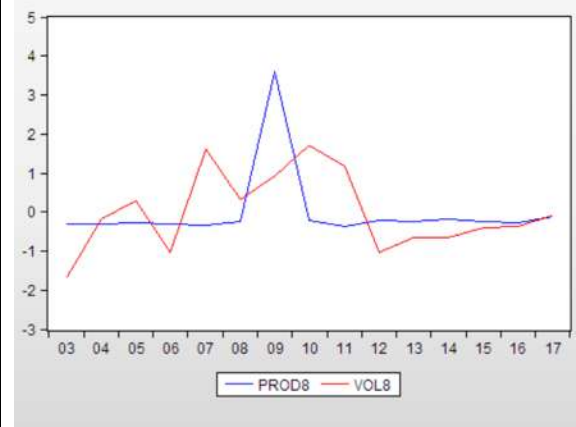
Grafica 5. Pacífico Sur



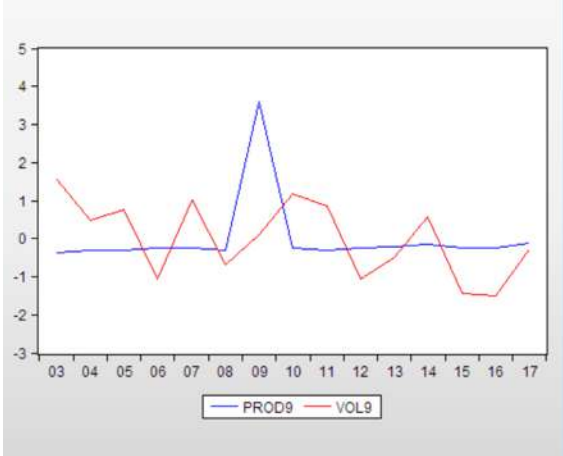
Grafica 6. Río Bravo



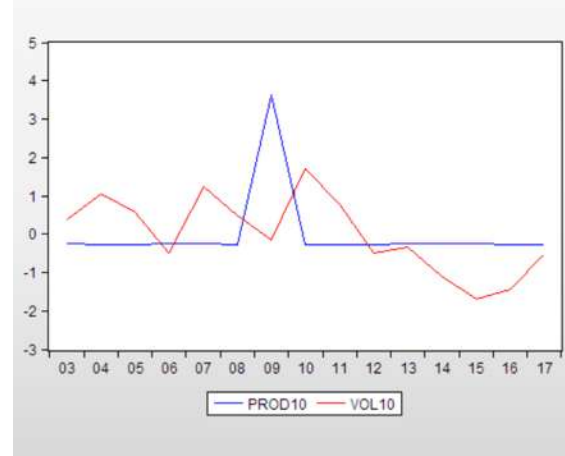
Grafica 7. Cuencas Centrales del Norte



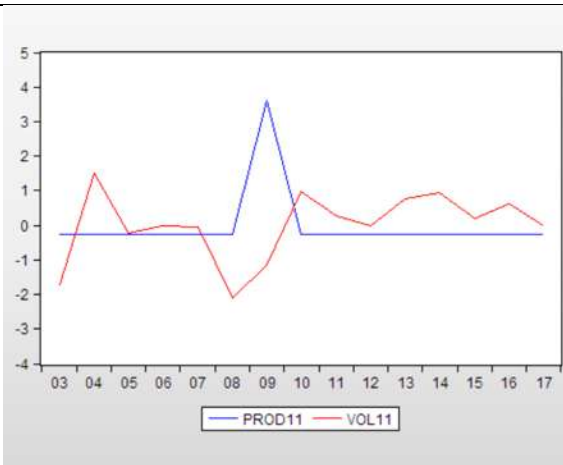
Grafica 8. Lerma-Santiago-Pacífico



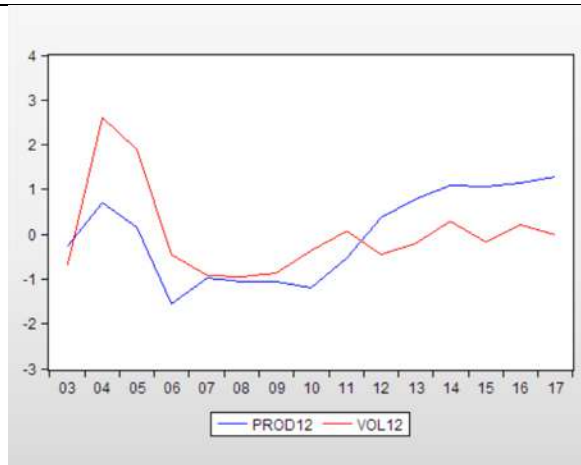
Grafica 9. Golfo Norte



Grafica 10. Golfo Centro



Grafica 11. Frontera Sur



Grafica 12. Península de Yucatán



Grafica 13. Valle de México

