

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES**

MAESTRÍA EN PLANEACIÓN Y DESARROLLO SUSTENTABLE



***EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE TRIGO EN
CADER DELTA DEL VALLE DE MEXICALI ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO***

T E S I S

que para obtener el grado de

MAESTRO EN PLANEACIÓN Y DESARROLLO SUSTENTABLE

Presenta

LI TS ING CISNEROS OCAMPO

Directora de Tesis

M.C. ELVIA ORALIA VILLEGAS OLIVAR

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

DICIEMBRE DE 2017

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Declaro que la tesis que se presenta contiene material original que no ha sido presentado para la obtención de un grado académico o diploma en esta u otra institución de educación superior. Asimismo declaro que hasta donde yo sé no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de las citas.

Mexicali, Baja California a ___ de diciembre de 2017

Li ts'ing Cisneros O.
Li ts'ing Cisneros Ocampo
Nombre y firma del estudiante

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi entero agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, y a la Universidad Autónoma de Baja California que a través de la Facultad de Arquitectura y Diseño e Instituto de Investigaciones Sociales brindaron el apoyo económico, legal, académico y profesional para la realización de este posgrado de Maestría y Doctorado en Planeación y Desarrollo sustentable durante el periodo 2015-2017.

En materia general expreso mi agradecimiento a la vida por tantas oportunidades para seguir creciendo en todo aspecto. En lo familiar doy gracias a mis padres Mario Cisneros y Martha Ocampo por su apoyo incondicional y su fe en mis capacidades; a mis hermanos, primos cercanos y cuñados por los chistes que impulsaron mi orgullo a terminar lo que comencé; y a mis abuelos que desde comienzo de mis estudios han pasado horas de tarea y desvelo en silencio junto a mí.

En materia académica y profesional, extiendo mi agradecimiento a mis tutores, en especial a Oralia Villegas y Arturo Ranfla, por su objetiva guía y su amistoso apoyo en su misión de esclarecer mi camino académico. Al ingeniero Carlos Zambrano, por los sustos que dejaba en mí, pues en cada duda expuesta, sus respuestas reflejaban la basta información que conoce y de la cual he aprendido.

También reconozco el apoyo que durante este posgrado recibí por parte de personas que se volvieron mi familia: las hermanas que elegí, Ana del Águila y Belén Estudillo por su entero valor para continuar juntas en este recorrido y las incontables noches de estudio y fiesta. A mis amigos y conocidos que directa o indirectamente me han apoyado a cumplir mis metas, y a mis mascotas por su amor incondicional en mis momentos de estrés y compañía.

RESUMEN

Los efectos del cambio climático se ven reflejados en los pronósticos de disminución del recurso hídrico a nivel mundial, lo cual afecta la producción de alimentos en la agricultura con los suministros de agua y la reducción de la misma para el valle de Mexicali. Por tanto, se presenta un estudio de la eficiencia en el uso del recurso hídrico en el trigo en el CADER Delta para el ciclo otoño-invierno de 2015 y tres escenarios de reducción del suministro del trigo y del consumo total del CADER que plantean los cambios previstos de acuerdo con fuentes nacionales e internacionales. Se utiliza una metodología basada en autores que contemplan la relación entre el volumen de agua y el producto obtenido, además se adjunta un comparativo de eficiencia del uso del agua entre el cultivo trigo y otros cultivos que se siembran en el área. En los escenarios, la metodología fue simple en la reducción porcentual de acuerdo con estándares estatales, nacionales e internacionales. Ante los resultados, el trigo ya no es una opción de siembra para el productor agrícola del CADER Delta en términos hidrológicos, por lo que se efectúan propuestas en la posible reconversión de cultivos como solución de la problemática de siembra de trigo, tanto de agua como de ingreso bruto estimado con las tablas comparativas de eficiencia entre el trigo y los diferentes cultivos acordes a la región.

Palabras claves: *eficiencia, cambio climático, trigo, reconversión de cultivos.*

ÍNDICE

Introducción.....	10
Capítulo 1. Sustentabilidad, cambio climático y uso eficiente del recurso hídrico: perspectivas teóricas y conceptos	13
1.1. El agua y la sustentabilidad	13
1.2. Cambio climático y manejo del recurso hídrico.....	17
1.3. La eficiencia del recurso hídrico	20
1.4. La relación de eficiencia y el uso sustentable del agua ante el cambio climático.....	24
1.5. Perspectivas teóricas del cambio climático.....	26
1.5.1. Enfoque Leader.....	30
Capítulo 2. Estudios y acuerdos referentes al cambio climático, agua y trigo.....	33
2.1. Estudios de la eficiencia del agua en el trigo.....	33
2.2. Perspectivas y acuerdos del desarrollo sostenible y agricultura.....	39
Capítulo 3. Antecedentes.....	42
3.1. El sector agrícola.....	42
3.1.1. El sector primario en México.....	42
3.1.2. El sector agrícola en Baja California.....	43
3.1.3. El sector agrícola en Mexicali.....	44
3.1.4. El valle de Mexicali, Distrito de riego 014.....	45
3.2. La agricultura y el agua del municipio de Mexicali.....	46
3.2.1. Origen del valle de Mexicali, breve pasaje histórico.....	50
3.2.2. Problemática del agua en el valle de Mexicali.....	51
3.2.3. Sistema producto trigo.....	52
3.3. Diagnóstico del manejo del agua en CADER Delta del valle de Mexicali.....	57
3.4. Serie histórica de estadística del trigo grano del Distrito de Riego 014.....	59
Capítulo 4. Metodología	65
4.1. Zona de Estudio.....	65
4.2. Operacionalización de variables.....	68
4.3. Metodología base para la eficiencia del uso del agua	69

4.4. Fuentes de información y programas utilizados	72
Capítulo 5. Eficiencia en el uso del agua en el trigo en CADER Delta	74
5.1 Eficiencia en el CADER Delta del valle de Mexicali para el ciclo otoño-invierno de 2015.....	74
5.2. Escenarios del suministro de agua ante cambio climático	82
5.3. Escenario 1: reducción del recurso hídrico del 15%.....	83
5.4. Escenario 2: reducción del recurso hídrico del 23%.....	85
5.5. Escenario 3: reducción del recurso hídrico del 30%.....	87
5.6. Propuesta de reconversión de cultivos, nuevos consumos hídricos.....	89
5.7. Algunos requerimientos necesarios para la reconversión de cultivos.....	93
5.8. Otras alternativas para el ahorro del recurso hídrico.....	100
Conclusiones.....	104
Bibliografía.....	108

ÍNICE DE TABLAS, MAPAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 1. Principales teorías del cambio climático y conceptos de prospectiva.....	28
Tabla 2. Cuadro resumen de variables de cambio climático y agricultura.....	38
Tabla 3. Número de usuarios, superficie regada, volumen distribuido y lámina bruta del Distrito 014 Río Colorado, según aprovechamiento y tenencia para año agrícola 2008-2009.....	59
Tabla 4. Superficie autorizada para siembra de trigo por CADER, ciclo otoño-invierno de 2015.....	62
Tabla 5. Producción de trigo grano medio fuerte de CADER Río Colorado para el periodo otoño-invierno de 2013 por modalidad de riego.....	62
Tabla 6. Producción de trigo grano fuerte de CADER Río Colorado para el periodo otoño-invierno de 2013 por modalidad de riego.....	63
Tabla 7. Producción de trigo grano cristalino de CADER Río Colorado para el periodo otoño-invierno de 2013 por modalidad de riego.....	63
Tabla 8. Cultivos, producción y productos pecuarios predominantes en CADER del valle de Mexicali para el ciclo otoño-invierno de 2015.....	66
Tabla 9. Operacionalización de Variables.....	68
Tabla 10. Superficie sembrada, cosechada y porcentajes de participación en CADER Delta para cultivos otoño-invierno 2015.....	74
Tabla 11. Producción obtenida en CADER Delta para cultivos otoño-invierno 2015.....	75
Tabla 12. Superficie siniestrada en CADER Delta para ciclo otoño-invierno de 2015.....	77
Tabla 13. Concentrado de uso de lámina de agua, producción en toneladas, pesos y m ³ /tonelada.....	77
Tabla 14. Concentrado de producción en tonelada, superficie sembrada y tonelada/superficie sembrada para CADER Delta en el ciclo otoño-invierno de 2015.....	78
Tabla 15. Ingreso por hectárea por cultivo del CADER Delta para el periodo otoño-invierno de 2015.....	80

Tabla 16. Ingreso por hectárea y volumen de agua en m ³ por tonelada por hectárea para cada cultivo del CADER Delta en el periodo otoño-invierno de 2015.....	81
Tabla 17. Tres escenarios de reducción del 15%, 23% y 30% para el CADER Delta con base en volúmenes estimados para el ciclo otoño-invierno de 2015.....	83
Tabla 18. Estimación volumen hídrico, ingreso y producción por cultivo del CADER Delta del periodo otoño-invierno de 2015.....	89
Tabla 19. Reconversión del 50% del territorio sembrado de trigo del ciclo otoño-invierno de 2015.....	90
Tabla 20. Reconversión del 80% de la superficie sembrada de trigo en CADER Delta de acuerdo a lo registrado en el ciclo otoño-invierno de 2015.....	91
Tabla 21. Reconversión del 100% de la superficie sembrada de trigo a cebollín de estimaciones de CADER Delta del ciclo otoño-invierno de 2015.....	93

MAPAS

Mapa 1. Distribución de las tierras secas en México.....	46
Mapa 2. Principales grupos de suelo de Mexicali, Baja California.....	47
Mapa 3. Acuíferos del municipio de Mexicali, Baja California.....	49
Mapa 4. Cuencas hidrológicas Río Colorado y Laguna Salada.....	58
Mapa 5. Límite de CADER.....	65
Mapa 6. Parcelas que siembran trigo en CADER Delta y en todos los CADER del valle de Mexicali para el ciclo otoño-invierno de 2015.....	67

FIGURAS

Figura 1. Árbol de problema del agua.....	19
Figura 2. Evapotranspiración del trigo por mes para el valle de Mexicali.....	56
Figura 3. Evapotranspiración del trigo por día para el valle de Mexicali.....	56
Figura 4. Serie histórica del valor de la producción del trigo grano para el distrito de riego 014 de 2001 a 2015.....	59
Figura 5. Serie histórica del rendimiento de la producción del trigo grano para el distrito de riego 014 de 2001 a 2015.....	60

Figura 6. Serie histórica del precio medio rural del trigo grano para el distrito de riego 014 de 2001 a 2015.....	61
Figura 7. Serie histórica de la producción del trigo grano para el distrito de riego 014 de 2001 a 2015.....	61
Figura 8. Tres escenarios de reducción del 15%, 23% y 30% para el CADER Delta con base en volúmenes estimados para el ciclo otoño-invierno de 2015.....	83
Figura 9. Escenario de reducción del 15% para el CADER Delta con base en volúmenes estimados para el ciclo otoño-invierno de 2015.....	84
Figura 10. Escenario de decremento del 15% en el suministro hídrico del trigo para el CADER Delta con base en volúmenes estimados para el ciclo otoño-invierno de 2015...	84
Figura 11. Escenario de reducción del 23% para el CADER Delta con base en volúmenes estimados para el ciclo otoño-invierno de 2015.....	86
Figura 12. Disminución del 23% del suministro hídrico para el trigo para el CADER Delta con base en volúmenes estimados para el ciclo otoño-invierno de 2015.....	86
Figura 13. Escenario de reducción del 30% para el CADER Delta con base en volúmenes estimados para el ciclo otoño-invierno de 2015.....	87
Figura 14. Escenario de reducción del 30% del suministro hídrico para el CADER Delta con base en volúmenes estimados para el ciclo otoño-invierno de 2015.....	88

INTRODUCCIÓN

Uno de los recursos más importantes para el ser humano es el agua por ser indispensable para cualquier proceso natural como la formación de flora y fauna, así como para los procesos productivos, comerciales o energéticos. El agua es trascendental en los procesos productivos agrícolas, por lo que este recurso se debe apreciar y cuidar como elemento principal para la generación de vida, además de ser un recurso limitado y escaso en muchas áreas del urbe; por tanto, es de suma importancia el estudio del agua, su distribución, su uso, su manejo y su conservación (Maheshwari, Simmons, Singh, 2012). La creciente crisis del agua, a nivel global, ha orillado a tomar medidas en cuanto a su uso, distribución y almacenamiento, y una de las actividades más afectadas ante cambios en el suministro hídrico es la agricultura, por consumir más del 70% del recurso y por ser la tercera en importancia ante un posible recorte del suministro (FAO, 2002). Esta crisis se debe en gran medida a las variaciones generadas por el cambio climático, que afectan el suelo, el aire, el agua, el clima, la atmósfera y todos los ecosistemas en general; en el caso específico del agua, afecta la calidad, los niveles de precipitación, de recarga, filtración, entre otros (SEMARNAT, 2012).

En torno a la distribución, el volumen de agua nacional concesionada de México en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) se agrupa en uso consuntivo y no consuntivo; el primero se refiere a actividades agrícolas, abastecimiento público, termoeléctrica, e industria autoabastecida; el segundo se refiere a la actividad hidroeléctrica. Del uso consuntivo, el 63% del recurso hídrico proviene de fuente superficial y el 37% de fuentes subterráneas; a su vez, de este volumen hídrico consuntivo, el 76.7% se destina a la actividad agrícola, el 14.1% al abastecimiento público (este incluye el agua a través de redes de agua potable, ya sea de uso doméstico o industria), el 5.1% a la energía eléctrica (excluyendo la hidroelectricidad), y el 4.1% a la industria autoabastecida, de acuerdo a datos de 2009 (CONAGUA, 2011: 44). A su vez, la tendencia respecto al cambio climático en el recurso hídrico hace referencia a la reducción del mismo y a la problemática de sobreexplotación de acuíferos, teniendo también en cuenta que el consumo promedio de agua por persona al día en México es de 380 litros, y que, mientras este consumo permanece constante, el suministro va en decremento (CONAGUA, 2015). Además, en el caso de la región hidrológica de la península de Baja California en 2009, el grado de presión que se ejerció ante la explotación del recurso se registró como fuerte, expresado en un 73.3%, lo

cual implica que no hay un cuidado del agua y que no hay una cultura de conservación para el manejo del mismo y una administración que no contempla los niveles saludables de los acuíferos, lo que pone en riesgo el consumo actual y futuro (CONAGUA, 2010).

En particular, este municipio nace con vocación agrícola destinando el 16% de su territorio a esta actividad orientada a satisfacer mayormente demanda internacional de productos agrícolas. Sin embargo, actualmente uno de los principales retos del valle de Mexicali es la administración, uso eficiente y aprovechamiento del agua, ya que esta responde a tratados internacionales con Estados Unidos y del cual comparten suministros (Distrito de Riego, 2016). Aunado a esto, se encuentra el crecimiento poblacional, que para el municipio de Mexicali en el año 2013 registró un aumento de 1.39%, y que corresponde al 29% de la población total del estado para ese año; por tanto, la demanda de agua para el uso doméstico se ha visto incrementada, y esto a su vez requiere de una mejor administración del recurso hídrico tanto para uso doméstico como para el uso agrícola (COPLADE, 2013: 4).

En el sector agrícola, uno de los principales cultivos producidos en el valle de Mexicali es el trigo, y son los Estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa que engloban el 63.18% del trigo que se siembra en todo el país, y el trigo grano fue el primer cultivo en importancia para 2014 para el distrito de riego Río Colorado. Además, existe la problemática mundial de mayor demanda de granos como el trigo mientras que el precio lleva una tendencia a la baja (CEDRSSA, 2015).

Ante las problemáticas del recurso hídrico para la agricultura surgen algunas interrogativas como: ¿Cuál es la eficiencia del uso del agua en la producción del trigo grano del CADER Delta del Valle de Mexicali para el ciclo otoño-invierno de 2015? ¿Cuál es el consumo de agua en la producción de trigo grano bajo criterios de eficiencia en el CADER Delta para el año 2015? ¿Cuál es el consumo de agua en la producción de trigo grano para el CADER Delta ante tres escenarios de cambio climático?

Por tanto, en este documento se tiene como objetivo general conocer la eficiencia en el uso del agua en la producción de trigo grano en CADER Delta del Valle de Mexicali ante escenarios de cambio climático; y como objetivos específicos: calcular el consumo de agua en la producción de trigo bajo criterios de eficiencia para 2015 en CADER Delta del valle de Mexicali, y, estimar el consumo de agua en la producción de trigo y el consumo general

hídrico en CADER Delta del valle de Mexicali ante tres diferentes escenarios de cambio climático.

El presente documento se divide en cinco capítulos que se proponen de la siguiente manera: en el primer capítulo se muestran los conceptos principales que se utilizan a lo largo del estudio, tales como la eficiencia en el uso hídrico, el cambio climático, la sustentabilidad y la relación de ellos en un mismo plano. En el capítulo 2 se presentan los estudios realizados de la eficiencia del agua en el trigo de manera internacional, nacional o local como antecedentes a la investigación y como evidencia de lo que ya se ha analizado y el área de oportunidad para esta investigación. El capítulo 3 ahonda en el área de estudio y la problemática del trigo, la caracterización del área como el clima, el suelo y el agua, es decir en los antecedentes que permiten situar al lector en el contexto. El capítulo 4 presenta la metodología utilizada como base para el análisis de la eficiencia del uso del agua en el área de estudio y para los tres escenarios de cambio climático, además de un comparativo entre la eficiencia del trigo y los principales cultivos sembrados en el CADER. En el capítulo 5 se realiza el análisis de los datos con los escenarios de cambio climático, la ecuación de la eficiencia aplicada y se presentan los resultados obtenidos, en tanto que se hacen propuestas como una vía para la solución de las problemáticas. Por último capítulo se presentan las conclusiones del documento.

1. SUSTENTABILIDAD, CAMBIO CLIMÁTICO Y USO EFICIENTE DEL RECURSO HÍDRICO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS Y CONCEPTOS

En este capítulo se abordan los conceptos teóricos que se utilizan a lo largo del documento; entre los conceptos principales se encuentran la eficiencia, la eficiencia del agua, la sustentabilidad y el cambio climático. Cada uno se expone de manera general y desde perspectivas de varias disciplinas, hasta enfocarse en el uso eficiente del agua ante el cambio climático y en especificar el significado de los conceptos que para efecto de este estudio serán utilizados. Seguido, se muestran las perspectivas teóricas que existen del cambio climático y se realiza la selección de aquellas que son seleccionadas para este documento.

1.1. El agua y la sustentabilidad

Para conocer el uso sustentable del agua, es importante abordar el concepto de sustentabilidad desde las diferentes perspectivas que el mismo término incluye. Por su parte, la FAO establece que:

El desarrollo sostenible es el manejo y la conservación de la base de recursos naturales, así como la orientación del cambio tecnológico e institucional de manera tal que se garantice de forma permanente la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras. Este tipo de desarrollo (en agricultura, silvicultura y pesca) conserva la tierra, el agua, los recursos genéticos animales y vegetales, es ambientalmente no degradante, técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable. (FAO, 1989: 65)

Por su parte, Harborth (1991: 9, citado por Foladori y Tommasino, 2000: 68) enuncia que el concepto de desarrollo sustentable tiene dos objetivos principales. El primero requiere que haya objetivos y caminos de desarrollo que no pueden permanecer por largo plazo, por el hecho de amenazar tarde o temprano las bases ecológicas de la tierra. El segundo contempla que el desarrollo no puede abandonarse como objetivo, y que el desarrollo debe ser diferente al que se ha concebido en la actualidad, es decir, optar por un desarrollo sustentable ecológica y socialmente como concebible y practicable.

Foladori y Tommasino (2000: 69) explican el enfoque de sustentabilidad social se considera comúnmente como la pobreza y el aumento de la población, entendiendo que la pobreza es considerada en forma extendida, y que incluye el hambre, la falta de habitación, de agua potable, de sistema de salud, entre otros; y que actualmente, la sustentabilidad ecológica (el otro eje principal de la sustentabilidad) no solo tiene sus causas en términos técnicos, sino sociales, al ser la causa de problemas ambientales.

Un sistema o un proceso sostenible desde la perspectiva de la biología o la ecología lo define Calvente (2007: 2) como: “un proceso es sostenible cuando ha desarrollado la capacidad para producir indefinidamente a un ritmo en el cual no agota los recursos que utiliza y que necesita para funcionar y no produce más contaminantes de los que puede absorber su entorno.” Además aclara que la esencia de lo que se busca con la sustentabilidad es avanzar hacia una relación diferente entre la economía, el ambiente y la sociedad, y no regresar a estados primitivos, sino progresar a nuevos enfoques diferentes y amplios; entendiendo que la estructura central se basa en estos tres pilares (económico, social y medio ambiente) y el equilibrio de la relación de los mismos. En temas económicos, enuncia a la sustentabilidad como “la habilidad de lograr una prosperidad económica sostenida en el tiempo protegiendo al mismo tiempo los sistemas naturales del planeta y proveyendo una alta calidad de vida para las personas”.

Ramírez, Sánchez y García retoman del informe Brundtland (2003) que el desarrollo sustentable tiene que combinar el crecimiento económico con la competitividad, la gestión de la naturaleza y con la biodiversidad, en donde vislumbran la posibilidad de una nueva etapa de crecimiento económico fundada en políticas que sostengan y amplíen la base de recursos del medio ambiente, además de considerar dicho crecimiento absolutamente indispensable para aliviar la pobreza que aqueja al mundo. Aseveran que el crecimiento económico se ve decididamente como una condición del desarrollo sustentable.

Ramírez, Sánchez y García (2003) enuncian que el desarrollo sustentable formula que a partir del ámbito ambiental, se generan modificaciones pacíficas y graduales en lo social que encaminan de manera organizada y planificada al cambio de la relación que el hombre tiene con la naturaleza, consigo mismo y con la sociedad. Aclarando que el concepto de desarrollo sustentable es aceptable como propuesta para el rubro social pero no es fácil de aplicar a aspectos o procesos específicos, teniendo en cuenta que existen amplias

interpretaciones y que en su sentido más amplio, una de las estrategias para lograrlo se extiende a promover relaciones armoniosas de los seres humanos entre sí, entre la humanidad y la naturaleza. Lo anterior contempla condiciones para llevarse a cabo, como un sistema político democrático, un sistema económico capaz, un sistema productivo que preserve el medio ambiente, un sistema tecnológico que genere soluciones, y un sistema administrativo flexible, entre otros. En tanto que desde su enfoque ecologista, formulan el concepto de sustentabilidad en el que solo se involucran las condiciones necesarias para mantener la vida humana y las generaciones futuras sin contemplar el aspecto distributivo.

Macedo (2005) en su documento de sostenibilidad expone el concepto como tradicionalmente se conoce en el que se satisfacen necesidades presentes sin comprometer las venideras, pero añade el paradigma de la economía ecológica en el que “se plantea la sostenibilidad de un desarrollo sin crecimiento, ajustando la economía a las exigencias de la ecología y del bienestar social global”. En este sentido, se vislumbra el desarrollo cualitativo o despliegue de potencialidades, deteniendo el crecimiento físico cuantitativo y deteniendo la incorporación de más materiales o energía. Expone que es importante dejar de crecer indefinidamente en un mundo finito, optando por el desarrollo cualitativo de las condiciones actuales.

Foladori (2002) habla del carácter de tridimensionalidad del concepto de sustentabilidad, y explica que la sustentabilidad ecológica abarca el mantenimiento de los recursos naturales abióticos e integridad climática, en la cual se hace referencia a un clima con la menor interferencia humana posible. Aclara que el concepto de sustentabilidad ecológica responde a la conservación de la naturaleza (naturaleza externa al ser humano). En términos económicos, plantea la contradicción entre sustentabilidad y el crecimiento ilimitado en el capitalismo, reduciendo la conclusión a la creciente sustitución de los recursos naturales no renovables por renovables y la reducción tendencial de la contaminación. En el ámbito de la sustentabilidad social, enuncia que el concepto ha sufrido modificaciones desde décadas anteriores; por ejemplo, en los años 90's el concepto de sustentabilidad social se enfocaba en la pobreza y el incremento poblacional y cubría meramente intereses ecológicos. En los nuevos cambios se contemplan modificaciones en las relaciones sociales de producción, en las relaciones técnicas y sobre todo, un elemento radical, la participación social.

En la agricultura sostenible se plantea que los objetivos se encaminan a cubrir las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de generaciones futuras para cubrir las suyas (MAGRAMA, 2016: 5).

De acuerdo a Labrador y Altieri, un modelo agrícola sustentable hace referencia a ser eficiente en el uso de la energía y de los recursos, económicamente viables, socialmente aceptables, y que además sean técnicamente apropiados y no degraden el medio ambiente. Entre los enfoques para obtener sistemas agrícolas sustentables, se concluye en dos caminos: la agricultura orgánica y la agricultura sostenible. La primera incluye la Agricultura Ecológica, Biodinámica, Permacultura a con un apartado para la Tradicional; y la segunda, que incluye a los Sistemas de Producción Agrícola Integrada y los Sistemas LISA (Labrador y Altieri, 1994: 5, 6).

La agricultura sostenible contiene formas de producir que a largo plazo mejoran la calidad del entorno y la base de los recursos de los cuales depende, comprende la cantidad suficiente de alimentos a aportar, es viable económicamente y mejora la calidad de vida del agricultor. Para el logro de estos objetivos esta forma de agricultura aboga por la disminución de aportes externos a la finca, ya sean fertilizantes, pesticidas, combustibles u otros, además de la utilización del control de plagas, laboreo de conservación, rotación de cultivos y fomento de tecnología de baja inversión (Labrador y Altieri, 1994: 7).

En relación a la sustentabilidad en el agua, Rodríguez (2002: 5) escribe que en tanto que se mantenga la capacidad de los recursos para regenerarse y se respeta la integridad de los ecosistemas de donde los recursos dependen, entonces el desarrollo es sustentable.

La ONU (2015) manifiesta que el recurso hídrico es finito y fundamental para el bienestar, y que solo si su gestión es adecuada, este recurso se puede concebir como renovable. La gestión debe ser inteligente como un prerrequisito del desarrollo sostenible, y establece que al gestionarse eficientemente, el recurso hídrico juega un papel trascendental para reforzar la resiliencia de los sistemas ante cambios impredecibles, ya sean económicos, sociales o ambientales.

Manifiesta también que el recurso hídrico es trascendental para las tres dimensiones del desarrollo sostenible, y que es un elemento que tienen los tres rubros en común para conseguir los objetivos, ya sean sociales, de desarrollo económico o de límites ambientales. Se expresa que para dichos objetivos, es necesario superar los nichos sectoriales y avanzar

hacia enfoques holísticos que contemplen las interacciones entre la alimentación, la energía, la salud, el medio ambiente y todas las dimensiones en las que el agua juega un papel importante (ONU, 2015).

1.2. Cambio climático y manejo del recurso hídrico

De acuerdo a Naciones Unidas (1992: 3) se entiende por cambio climático al “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”. Además, se entiende por efectos adversos del cambio climático a "los cambios en el medio ambiente físico o en la biota resultantes del cambio climático que tienen efectos nocivos significativos en la composición, la capacidad de recuperación o la productividad de los ecosistemas naturales o sujetos a ordenación, o en el funcionamiento de los sistemas socioeconómicos, o en la salud y el bienestar humanos” (ONU, 1992: 3).

El cambio climático también puede ser definido como una variación en el estado del clima identificado por variaciones en la media y/o variabilidad de sus propiedades y que se mantienen durante un extenso periodo, mayormente comprendido por décadas. El cambio climático puede ser por los procesos internos naturales o por fuerzas externas, o bien por persistentes cambios antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso del suelo, en tanto que la gestión de riesgos y adaptación al cambio climático se enfocan en reducir la vulnerabilidad y en incrementar la resiliencia a los posibles impactos (IPCC, 2012).

El cambio climático incluye modificaciones en la temperatura, precipitación, intensidad luminosa, vientos, y también diferentes factores bióticos y abióticos que desencadenan enfermedades y daños físicos en la agricultura por la presencia de plagas, hierbas malas, o insectos (SPA, 2012).

Los efectos en la producción de alimentos por parte del clima se traducen en temperaturas extremas, ya sea en congelación o heladas; exceso o escasez de precipitación pluvial, ya sea en sequías o tormentas; vientos fuertes con presencia o ausencia de lluvia; y en menor medida la modificación de los patrones de luminosidad, principalmente por periodos excesivamente largos de nubosidad (SPA, 2012: 117).

Cada uno de los factores naturales que se modifican ante el cambio climático puede provocar reacciones desastrosas para la producción agrícola. Dentro de los principales componentes climáticos para la producción de alimentos se encuentran:

Temperatura: “La temperatura de un cuerpo es una medida de su capacidad de transferir calor. El calor es una forma de transferir energía” (Rodríguez, 2016: 20). Hay un rango de temperatura adecuado para el crecimiento de la mayoría de las plantas cultivadas, y de acuerdo a Hopkins y Hüner (2004, citado por SPA, 2012: 117), este tiene un rango desde 0°C hasta 45°C, pero cabe mencionar que la temperatura idónea es aquella en donde la especie vegetal se originó (SPA, 2012).

Agua: “El agua es requerida por todas las especies vegetales por tres razones básicas, el estrés hídrico es una causa principal de la muerte de las plantas y se da cuando la transpiración excede el agua absorbida por las raíces. Una deficiencia de este elemento en el desarrollo de las plantas se ve reflejado en la altura, el tallo, raíces, área foliar, biomasa de la planta, entre otros (Luna-Flores et al., 2012).

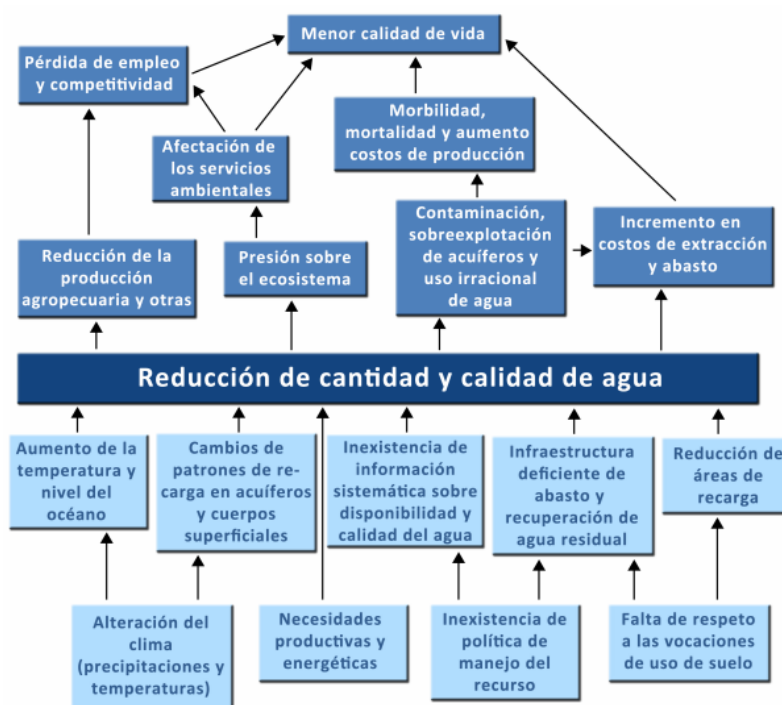
Viento: “La influencia del viento sobre las plantas es mayormente de tipo mecánico, el viento es importante para promover la dispersión de las semillas en plantas silvestres, así como para polinización en aquellas plantas que requieren del viento como medio de transporte del polen (maíz, sorgo)”. “Para el caso de los cereales como el trigo y la cebada, este fenómeno de deformación de los tallos por efecto de vientos fuertes se denomina *acame* y es factor importante de reducciones en el rendimiento de estos cereales” (SPA, 2012: 119). Dentro de los principales impactos del cambio climático en el recurso hídrico están los relacionados con variaciones en la intensidad y estacionalidad de lluvias y sequías, severidad y redistribución de Fenómenos Hidrometeorológicos Extremos (FHE); además de la disponibilidad de humedad en los suelos y en sus condiciones biológicas, físicas y químicas; la reducción de horas frío y aumento de horas calor, por mencionar algunos (SPA, 2012: 128).

Los cambios específicos detectados en la producción agrícola con respecto al cambio climático se reportan en la reducción de la actividad productiva ante modificaciones en la disponibilidad, calidad y distribución del agua, además de la dinámica poblacional de plagas, enfermedades y sus especies depredadoras, así como de las especies polinizadoras de cultivos, parásitas o comensales. Además, de los cambios en el medio ambiente y la

producción agrícola, el cambio climático afecta el turismo en el incremento de temperatura, del nivel del mar, en la generación de CO₂; afecta también al sector salud, particularmente en las enfermedades en la población; igualmente afecta aspectos económicos, principalmente en la producción en los diversos sectores de la economía (SPA, 2012).

La Secretaría de Protección al Ambiente (2012) presenta un árbol de problema del agua con respecto al cambio climático:

Figura 1. Árbol de problema del agua.



Fuente: SPA, 2012.

En la figura 1 se pueden apreciar algunas de las causas y efectos de la reducción de la cantidad y cantidad de agua. Ante este panorama, el área agrícola se vería afectada en primer instancia con una reducción de la producción que desencadena en la pérdida de empleos, competitividad en el mercado y calidad de vida; relacionado se encuentran también la presión ejercida por el hombre a los ecosistemas y el incremento del costo de extracción o suministro del recurso.

1.3. La eficiencia del recurso hídrico

La palabra eficiencia proviene del latín *efficientia*, y la Real Academia Española la define como “la capacidad de disponer de alguien o algo para conseguir un efecto determinado” (2014: 1). Cohen y Franco definen la eficiencia como “el instrumento para alcanzar los fines que la sociedad ha fijado”, además plantean para el ámbito económico que la eficiencia es un principio rector al ser sustentado en que “los individuos escogen en función de su propia felicidad y que siempre prefieren elevar su capacidad de elección, por lo que buscan elevar su productividad y aumentar así los bienes y servicios disponibles” (1992: 21) y que la eficiencia se traduce en “la minimización de los costos de los insumos o maximización de los productos del proyecto” (1992: 77). En este mismo sentido, la eficiencia se considera desde dos perspectivas: “si la cantidad de producto está predeterminada, se persigue minimizar el costo total o medio que se requiere para generarlo; si el gasto total está fijado de antemano, se busca optimizar la combinación de insumos para maximizar el producto” (1992: 104).

Por su parte, Mokate entiende la eficiencia como “el grado en que se cumplen los objetivos de una iniciativa al menor costo posible” (2002: 5). Tenorio y Pérez expresan que la eficiencia:

Mide el comportamiento interno de la empresa en términos de recursos consumidos y procesos utilizados para lograr los objetivos preestablecidos...dicta la elección de la alternativa que produce el mayor resultado para una aplicación de recursos dada. La eficiencia permite hacer una valoración económica de los resultados al introducir la relación entre fines y medios (2000: 189).

Bajo el enfoque de la empresa pública, Rozenstein (1984: 341) relaciona el concepto de eficiencia con la productividad y la expone como “el modo en que se relacionan los insumos y productos y de su existencia depende la bondad, la deseabilidad, la calificación de la relación entre insumos y productos”, y lo traduce en que “el concepto de eficiencia está directamente vinculado a la tecnología que hace posible que un conjunto dado de recursos genere un volumen y calidad dados de producto”. El autor aclara que la eficiencia incluye no únicamente la noción de la parte adecuada de insumos en la producción de cierto producto,

sino que enfatiza que el modo de procesar las proporciones para obtener el producto en calidad y cantidad esperadas es igualmente importante.

Desde el enfoque económico hay varias formas de analizar la eficiencia, que van desde el análisis costo-beneficio, la explicación de las condiciones en que una empresa optimiza rendimientos, la necesidad de la satisfacción de las necesidades integrales del hombre en la medición de eficiencia, o los postulados de la economía del bienestar (Rozenstein, 1984).

La eficiencia técnica en la economía examina la relación entre “el producto o resultado generado y la cantidad de un determinado insumo utilizado en su generación... mide la relación entre el producto y la energía utilizada en su producción” (Mokate, 2002: 6). En las políticas sociales, la eficiencia técnica la define Mokate como “la medición cuyas unidades de medida son unidad de producto (o logro) por unidad de insumo”; además este mismo autor ejemplifica dos clases de eficiencia, la interna y la externa, explicando la primera cuando el objetivo o logro es meramente interno a la iniciativa implementada o servicio ofrecido, y exponiendo la segunda como la eficiencia que mide efectos monetarios de la iniciativa que se analiza (2002: 6).

En el área de las ciencias sociales, González, López y Mendaña (2010: 118) (citando a Koopmans 1951 y Farrell 1957) describen la eficiencia técnica como la obtención del nivel máximo de *outputs* posibles con una combinación mínima de recursos para alcanzar determinada cantidad de *outputs*.

La eficiencia referida por los autores Ríos et al. (2016), documento del cual se ha tomado como metodología base, se ha extrapolado a su vez de estudios técnicos de eficiencia realizados por Mekonnen y Hoekstra (2010) en donde se conceptualiza como una fracción de agua desviada de la fuente de agua que está disponible para la evapotranspiración del cultivo; además de realizar los cálculos de la huella de agua verde, azul y gris del trigo en metros cúbicos sobre toneladas producidas. De este artículo y del de Ríos et al., se retoma el concepto de eficiencia del agua como “un cociente donde el numerador se encuentra la cantidad de agua empleada para la producción de determinado cultivo, y en el denominador se encuentra la cantidad de producto generado (físico, económico, social)” (Ríos et al., 2016: 21).

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en la conferencia anual 2014 en materia de agua se expresa que la mejora de la eficiencia en el uso del agua es definida como el aumento en la productividad, la reducción de la intensidad del uso y de la contaminación de las actividades socio-económicas por medio de la maximización del valor de los usos del agua, además de la mejora en la asignación de usos para la obtención de mayor valor socio-económico por gota de agua. Es decir, garantizar los usos ambientales y mejorar la eficiencia técnica de los servicios de los recursos hídricos y la eficiencia en la gestión de la prestación de los mismos durante todo el ciclo de vida completo.

En este mismo documento se expresa que para favorecer la eficiencia en el uso del agua y la energía hay algunos puntos importantes a destacar: la construcción de una estrategia de colaboración, elegir correctamente las tecnologías eficientes en el uso de los recursos, extender y acelerar la transferencia de tecnología, crear alianzas, fomentar innovación, y desarrollo de capacidades (UNEP, 2014).

La eficiencia del uso del agua está relacionada con la productividad, y el caso de la productividad del agua se conceptualiza como (FAO, 2013: 17):

La relación de los beneficios netos de los cultivos, la silvicultura, la pesca, la ganadería y los sistemas agrícolas mixtos a la cantidad de agua utilizada para producir esos beneficios. En su más amplio sentido, refleja los objetivos de producir más alimentos, ingresos, medios de vida y beneficios ecológicos a un menor costo social y ambiental por unidad de agua consumida.

Diferenciando la productividad física del agua y la productividad del agua en particular se expresa que la productividad del agua física se define como la proporción de la producción agrícola a la cantidad de agua consumida – ‘más cultivos por gota’-, en tanto que la productividad se define como “la mayor cantidad de valor obtenido por unidad de agua usada” (Molden, Sakthivadivel, y Habib, 2001: 2).

Luna-Flores et al. (2012) expresan la eficiencia del uso del agua en la productividad como el cociente de la evapotranspiración diaria acumulada entre la biomasa del inicio y final del experimento realizado.

La FAO (2016: 1) aclara que en el uso eficiente del agua es importante tener una visión más amplia que vaya más allá del agua que no se gasta y que contemple los niveles de cuenca, reconociendo el efecto que las pérdidas pueden hacer a la productividad en otras

áreas y otras partes del ciclo del agua. Por lo que expone el concepto de la eficiencia en el uso del agua como:

El ratio (razón) entre el uso efectivo del agua y la extracción real de agua. En el riego, la eficiencia en el uso del agua representa el ratio entre las necesidades estimadas de agua para el riego (a través de la evapotranspiración) y la extracción real de agua. Es adimensional y se puede calcular a cualquier nivel (planta, terreno, explotación de regadío, cuenca, país, etc.).

Además, una forma de hacer eficiente el uso del agua es reduciendo las pérdidas de agua en la transmisión y distribución, desviando el agua a cultivos con mayor rendimiento y aumentando la productividad (FAO, 2016).

También el uso eficiente del agua para la agricultura hace referencia a los niveles de precipitación promedio anual, la disponibilidad de agua en la finca o en su cercanía, la pendiente del terreno, la textura del suelo, la profundidad del suelo y la capacidad de infiltración del suelo. Otros criterios se relacionan con condiciones socioeconómicas las cuales determinan los objetivos que tiene la familia o el productor. Entre los criterios destacan: la tenencia de la tierra, el nivel de conocimiento, el acceso a asistencia técnica, la capacidad económica, la cantidad de mano de obra disponible, el acceso a insumos o materiales externos, el tipo de rubro productivo, el nivel tecnológico y experiencia en prácticas sostenibles de conservación y el manejo de suelos (FAO, 2013: 25).

Dentro de las claves para mejorar la eficiencia del riego en los cultivos, la FAO propone reducir las filtraciones de los canales con tuberías o revestimientos, evitar los riegos a medio día para evitar la evaporación, evitar riego excesivo, controlar las hierbas malas, cosechar y sembrar en tiempos apropiados, y regar con la frecuencia y cantidad adecuada para el cultivo (FAO, 2002).

La FAO expone en el documento *Captación y almacenamiento de agua de lluvia* la selección y del método más eficiente para el uso del agua, en donde presentan de manera general, que el sistema de riego por goteo es el más eficiente, seguido por el método de microaspersión, aspersión, inundación por surcos e inundación general de la superficie. Enfatizan que esta jerarquía de métodos de eficiencia sufre variaciones dependiendo la necesidad del cultivo pues para ciertos cultivos es adecuado el método de irrigación localizada (goteo, microaspersión) y para otros el método de inundación, aunque este último

sigue siendo menos eficiente en cuanto al uso de agua (por ejemplo, pastos y arroz) (FAO, 2013: 104).

En la agricultura, la eficiencia del riego lo enuncia la FAO (2016: 1) como “El ratio (razón) o porcentaje de las necesidades de agua para riego de los cultivos en una finca, terreno o proyecto con riego en relación con el agua desviada de la fuente de suministro. También denominada 'Eficiencia general del riego’”.

Para el caso de los conceptos a utilizar en este documento, la eficiencia del agua se entiende como “la relación entre la producción agrícola y la aplicación del agua. Este término ha sido muy utilizado para describir el rendimiento generado (biomasa o económico) por unidad de agua aplicada.” (Viets, 1966, citado por Rios et al., 2016: 21). En el caso de la productividad del agua, es destacado aclarar que este concepto es usado únicamente para denotar la cantidad de producto generado sobre el volumen de agua consumida o asignada (FAO, 2003).

1.4. La relación de eficiencia y el uso sustentable del agua ante el cambio climático

Es importante relacionar los conceptos anteriores para un mejor entendimiento, y es que reducir el uso e impactos en el medio ambiente a través del uso eficiente del agua es una de las prioridades y desafíos primordiales ante el cambio climático, uso sustentable del agua y eficiencia (UNEP, 2014).

El uso eficiente y sustentable del agua hace referencia primeramente a las características hidrológicas de la región que se estudia, a los niveles de extracción, uso, demanda, filtraciones, descargas o evapotranspiración del recurso, entre otros. En segundo plano hace referencia a los niveles de balance de la oferta y demanda de agua y los niveles saludables de recarga del recurso para su adecuado uso; además de contemplar las proyecciones de demanda futura y la disponibilidad de la oferta futura ante el cambio climático. El tratamiento de las aguas residuales en los tres principales rubros (agricultura, industria y uso doméstico) y las repercusiones y efectos en los ecosistemas hacen de la relación eficiencia, cambio climático y uso sustentable, una combinación importante y necesaria. Un ejemplo de ello es que para 1999, ninguna de las 29 regiones hidrológicas monitoreadas en México, de un total de 37, alcanzaba una categoría aceptable de calidad del

agua, y por el contrario, se les categorizó como fuertemente e inclusive excesivamente contaminadas. La salud pública y la gestión institucional con las políticas aplicadas al tema, juegan un papel trascendental al emitir los derechos de agua y de descargas residuales, aseverando que el papel del Estado y participación privada ante las externalidades que el uso del agua por el hombre genera, requiere de políticas adecuadas para el consumo, tratamiento y conservación del recurso (Quadri de la Torre, 1999: 339).

Mejorar el rendimiento en el uso del recurso hídrico para el ahorro del mismo es uno de los objetivos en términos económicos, ambientales y sociales, ya que el uso eficiente del agua y el ahorro del mismo vela por los intereses de las generaciones futuras. El uso sostenible del agua asegura un buen estado ecológico, reduce costos empresariales y posterga inversiones de suministro y tratamiento de aguas residuales (Kolberg y Berbel, 2011).

En términos agrícolas, la mejora de los regadíos y su funcionamiento esta frecuentemente relacionada a la eficiencia, pues una baja eficiencia en el método de riego y uso de agua, significa grandes cantidades de agua perdida, destacando que la uniformidad en los regadíos es una parte trascendental para efectos de eficiencia del uso del agua (Santos et al., 2010).

Nelson et al., (2009) argumentan que existen impactos destacados del cambio climático en la agricultura y el desarrollo, entre los cuales que implican: el deterioro en el rendimiento de los cultivos; además de tener efectos en el nivel de precios, producción y consumo.

En específico, el aumento de temperatura que se ha suscitado en los últimos 30 años por el cambio climático ha tenido efectos en el trigo y maíz reflejados en el descenso del rendimiento. Por cada grado de aumento de temperatura se estima una pérdida de potencial de rendimiento de un 5%, de acuerdo a Lobell et al. (2011), estiman que “el rendimiento potencial a nivel global para el año 2050 podría ser un 70% menor en trigo y un 80% menor en maíz a causa del cambio climático. La productividad futura del arroz podría decrecer un 20% respecto del año 2000”. Adicionalmente, otros efectos del cambio climático se reflejan en el incremento de los precios de cultivos como maíz, trigo, arroz y soya (Nelson et al., 2010).

Por su parte, la FAO (ONU, 2013: 2) propone cinco principios para conseguir una agricultura sostenible que están estrechamente relacionados entre sí: mejorar la eficiencia en

el uso de los recursos; conservar, proteger y mejorar los recursos naturales; proteger y mejorar los medios de vida y el bienestar de las zonas rurales; mejorar la resiliencia de las personas, las comunidades y los ecosistemas, especialmente para responder al cambio climático y la volatilidad de los mercados; y un buen gobierno.

En este mismo documento se plantea la problemática del agua, el desarrollo sustentable y el agua, enunciando que la gestión sostenible de los recursos hídricos tienen que ajustar la oferta y demanda del agua dulce para cerciorarse de la calidad y cantidad adecuada futura del recurso. Además se expone que la gestión integrada del agua es una visión holística que se acepta de forma internacional como el nuevo lineamiento hacia el uso eficiente, equitativo, sostenible, y para la gestión de los recursos limitados como resolución de los conflictos entre demandas alternativas (ONU, 2013: 5).

1.5. Perspectivas teóricas del cambio climático

En referencia a las teorías que explican el cambio climático, se pueden apreciar tres grupos que las engloban: la prospectiva y planeación, la social, y las ciencias de la tierra y el espacio. En las teorías de la ciencia y el espacio se encuentran propuestas de Bio-termostato en la cual se expone que hay un proceso natural que mantiene la temperatura en equilibrio como un termostato global; la teoría de formación de nubes y albedo que expone que un cambio en la formación de albedo de las nubes crea efectos negativos que cancelan los altos niveles de CO². La teoría de las corrientes oceánicas se enfoca en explicar cómo las variaciones globales de temperatura de las últimas décadas se deben al lento movimiento Thermohaline de los océanos. La teoría del movimiento planetario hace énfasis en que el calentamiento global se explica por las oscilaciones naturales gravitacionales y magnéticas del sistema solar que son inducidas por el movimiento del planeta a través del espacio. Presenta que estas oscilaciones modulan las variaciones solares e influencias extraterrestres a la tierra que se traducen en cambio climático. La variabilidad solar es otra teoría que explica el cambio climático, mediante los cambios en la energía emitida por el sol y las fluctuaciones que se registran del mismo (Bast, 2010). La teoría astronómica de Milankovitch explica que los cambios climáticos están directamente relacionados a los cambios de órbita que realiza la tierra alrededor del sol que causan oscilaciones climáticas (Tommasino, Foladori y Taks, 2001).

En el grupo de teorías referente a lo social se encuentra lo concerniente a la construcción y definición de problemas sociales, morales y culturales que se crean en torno al cambio climático (Shove, 2010). En este grupo de teorías están las nuevas teorías institucionales, basadas en teorías culturales y conocimiento social para la adaptación de estrategias y políticas ante las contradicciones sociales y el cambio climático (O’Riordan y Jordan, 1998). También, hay estudios que se encaminan a la geografía política con el discurso y temas culturales en relación al cambio climático (Boykoff, 2008).

En el grupo de teorías enfocadas a la prospectiva y la planeación se encuentra la teoría global antropogénica, la cual explica el cambio climático como resultado del efecto invernadero creado por el ser humano afectando catastróficamente el aumento de la temperatura global. Así mismo, se encuentra la teoría del efecto humano (independiente del efecto invernadero), la cual se enfoca en explicar el cambio climático debido a las modificaciones hechas en la superficie del planeta, ya sea debido a la construcción de ciudades, deforestación o agricultura (Bast, 2010). Otras teorías están enfocadas a la transformación y adaptación de las políticas sectoriales ante el cambio climático (Larsen et al., 2012). En este mismo grupo de teorías de adaptación, se encuentran ligadas aquellas teorías referentes a la vulnerabilidad y resiliencia, en las que se vislumbra la adaptación al cambio climático como un objetivo para reducir los daños (Eisenack y Stecker, 2010).

En este mismo grupo la teoría política explica el cambio climático como aquello que da forma a la política, la economía, la cultura y el paisaje. En esta teoría es la política la encargada de plantear las relaciones entre el ser humano y el medio ambiente, la justicia, el derecho y el sentido de lugar (Vanderheiden, 2008).

Para efecto de esta investigación, el enfoque que se adopta es el de prospectiva y planeación ante el cambio climático. Dentro de este grupo de teorías antes mencionadas se encuentran algunos conceptos destacados que son: vulnerabilidad, resiliencia, adaptación y mitigación. Dentro de las políticas de mitigación se encuentran las estrategias orientadas a evitar el desperdicio del recurso hídrico y a disminuir los niveles de consumo de este (Aguilar, 2004).

Tabla 1. Principales teorías del cambio climático y conceptos de prospectiva.

<i>Áreas</i>	<i>Teorías</i>	<i>Conceptos</i>
<i>Prospectiva y planeación</i>	Aprendizaje social, políticas públicas y adaptabilidad	Vulnerabilidad
	Global antropogénico	Mitigación
	Vulnerabilidad	Sensibilidad
	Política	Adaptación
	Prospectiva	Resiliencia
	Adaptación/transformación	
<i>Social</i>	Efecto humano además del efecto invernadero	
	Geografía política y cultura	
	nuevas teorías institucionales	
	social	
<i>Ciencias de la tierra y el espacio</i>	Bio-termostato	
	Formación de nubes y albedo	
	Corrientes oceánicas	
	Movimiento planetario	
	Variabilidad solar	
	Cosmoclimatología	
	Teoría astronómica	

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al Informe de impactos regionales del cambio climático expuesto por el Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (1997: 1), se enuncia la vulnerabilidad como “el grado en que un sistema natural o social podría resultar afectado por el cambio climático”. Se declara que la vulnerabilidad se encuentra:

En función de la sensibilidad de un sistema a los cambios del clima (el grado en que un sistema responderá a determinado cambio del clima, incluidos los efectos beneficiosos y perjudiciales), y de su capacidad para adaptar el sistema a dichos cambios (el grado en que los ajustes introducidos en las practicas, procesos o estructuras pueden moderar o contrarrestar los posibles daños o beneficiarse de las oportunidades creadas, por efecto de determinado cambio del clima) (1997: 1).

Es decir, que un sistema en alta vulnerabilidad es aquel que ante pequeños cambios en el clima se ve afectado sensiblemente y sufre efectos graves, además de verse limitada su capacidad de adaptación o recuperación.

De acuerdo al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (1995: 30), en la Segunda evaluación Cambio Climático 1995, se enuncia que la sensibilidad es el grado de reacción de un sistema al cambio en las condiciones climáticas. En tanto que la adaptabilidad se conceptualiza como el grado de ajustes en prácticas, procesos o estructuras de sistemas en función de cambios previstos o reales del clima. Esta adaptación

puede llevarse a cabo de manera planeada o espontánea y realizarse como respuesta a cambios en las condiciones o anticipándose a ellos. La vulnerabilidad es el grado en que puede ser perjudicial o nocivo para un sistema el cambio del clima. La magnitud y velocidad que se registre en el cambio climático es trascendental para determinar la sensibilidad, la adaptabilidad y la vulnerabilidad de un sistema.

Yohe y Lasco (2005), exponen el concepto de mitigación como las medidas de adaptación en las políticas de cambio climático que se concentran en reducir las vulnerabilidades y los riesgos a través de mejorar la capacidad de adaptación de las comunidades y economías.

El cambio climático ha hecho que los gestores busquen orientar las prácticas para adaptar los proyectos ante los nuevos impactos que el cambio climático realiza. Las actuaciones de gestión son un medio para la reducción de impactos negativos del cambio climático y para aprovechar en mayor medida los impactos positivos. Los elementos trascendentales para un enfoque de adaptación de cambio climático van desde la evaluación de las dificultades, el planteamiento de los objetivos, el seguimiento de las respuestas de los ecosistemas, la incorporación de factores de incertidumbre con relación a los impactos, y la creación de una cartera de estrategias de ordenación. Por tanto, un enfoque de resiliencia busca un proceso de regeneración en donde no solo el sistema se pueda ajustar, sino que tenga la capacidad de volver a su estado anterior (Blate, et al., 2009).

Cuando se llegara a traspasar el umbral de resiliencia y la restauración de las condiciones históricas antecedentes al fenómeno de disturbio resulte ambientalmente problemática, excesivamente costosa o jurídicamente impracticable, la opción preferible será reajustar los graves trastornos del ecosistema a las condiciones climáticas imperantes y a las condiciones pronosticadas” (Blate, et al., 2009: 6).

De acuerdo al glosario ambiental de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2016) se conceptualizan las medidas de mitigación como las acciones de prevención, control, atenuación, restauración y compensación de impactos ambientales negativos que deben acompañar el desarrollo de un proyecto para la sostenibilidad de los recursos naturales y la protección del medio ambiente. Estas acciones nacen del Estudio de Impacto Ambiental y continúan en el Plan de Gestión Ambiental. Cabe mencionar que las

acciones de mitigación pueden ser de implementación previa, simultánea o posterior a la ejecución del proyecto o acción.

Las medidas de mitigación ambiental tienen por objetivo disminuir o evitar los efectos adversos que algún proyecto o actividad a realizar, independientemente de la fase de ejecución del mismo. Dentro de un plan de medidas de mitigación se deben tomar algunas consideraciones como:

- Aquellas que eviten completamente efectos adversos significativos a través de la no ejecución de una obra o acción, o de alguna de sus partes.
- Aquellas que disminuyan efectos adversos significativos a través de una adecuada limitación o reducción de la magnitud de la obra o acción, de alguna de sus partes, o mediante la implementación de medidas específicas (GRN, 2016: 2).

Las medidas de compensación ambiental tienen por objetivo generar efectos positivos alternativos y equivalentes a efectos adversos identificados (GRN, 2016). Por último, el término de adaptación al cambio climático se entiende como:

Los ajustes humanos y en sistemas naturales en un clima que cambia tanto en sus promedios como en sus extremos. Y su aplicación a través de medidas de adaptación se considera una contribución a la reducción de los impactos esperados del cambio climático que permita asegurar condiciones para un desarrollo con visión de sostenibilidad (IPACC, 2013:5).

1.5.1. Enfoque Leader

Dentro de los modelos y políticas aplicadas para el ámbito rural que muchas veces incluye el área agrícola se encuentra el enfoque Leader. El enfoque Leader es un modelo que se ha utilizado en la actualidad como material de apoyo para el desarrollo rural ante la creciente problemática que aqueja a este sector. Nace como un método para fomentar el desarrollo rural, pero se ha tomado como modelo, sobre todo en la Unión Europea; desde 1991 esta iniciativa ha ofrecido un método para la conexión de las áreas rurales, socios locales en la gestión del desarrollo de las zonas. Este enfoque ha complementado las políticas internas de países en la Unión Europea, hasta ser parte de los programas nacionales y regionales de desarrollo rural (2006, UE).

Dentro de este enfoque hay características fundamentales que lo integran, las cuales son: las estrategias de desarrollo local, el enfoque ascendente, las asociaciones públicas y privadas locales (grupos de acción local), facilitar la innovación, las actuaciones integradas y multisectoriales, la conexión en redes, y la cooperación (2006, UE).

Aunado a lo anterior, se mencionan algunas de las condiciones básicas que deben reunirse para la aplicación de las siete características del enfoque Leader. Estas medidas constan de: crear medios en la escala local, reunir agentes locales y organizar reuniones en la zona, analizar el territorio enumerando las características particulares y potencialidades, determinar las actividades e iniciativas existentes, crear una asociación, y preparar la estrategia de desarrollo local en un documento con los objetivos, prioridades, estrategias y actuación (2006, UE).

A partir de 2005, el Consejo de la Unión Europea aprobó un reglamento concerniente al desarrollo rural para el periodo de 2007-2013, por lo que durante ese periodo los programas de desarrollo rural debieron contener un componente Leader en la aplicación de estrategias ascendentes, programando un 5% de la financiación de la UE a cada programa y la integración paulatina de otras naciones de la unión (2006, UE).

La iniciativa comunitaria LEADER propone un enfoque local, estrategias de abajo hacia arriba, enfoques multisectoriales integrados, alianzas horizontales y redes de trabajo. “La estrategia LEADER está asociada con la capacitación mediante la estrategia de desarrollo local y la asignación de recursos. La herramienta principal para la aplicación de la estrategia de LEADER para el desarrollo y la implicación de los representantes legislativos es el Grupo de acción local (GAL)” (Comisión Europea, 2014:1). Para 1994, LEADER II propone introducir la innovación y cooperación transnacional como procesos fundamentales del modelo de desarrollo para el empoderamiento de la población local. En el año 2000, el enfoque LEADER + propone fortalecer el proceso de democratización de la toma de decisiones y reforzar las particularidades territoriales a partir de grandes proyectos temáticos y de calidad, esto con la inclusión de los diferentes sectores socioeconómicos del territorio en los Grupos de Apoyo Local. Para el periodo 2007-2013 el enfoque se incorporó como parte integral del programa de desarrollo rural completo de la UE (Zizumbo, Rojas y Espinoza, 2013; Comisión Europea, 2006).

En este capítulo se expusieron los conceptos principales para abordar la problemática de tesis, conceptos como vulnerabilidad, eficiencia, cambio climático o mitigación, con el propósito de aclarar cuál es la forma por la cual se aborda la temática. Además se presentaron las teorías que sustentan el análisis que posteriormente se llevará a cabo.

2. ESTUDIOS Y ACUERDOS REFERENTES AL CAMBIO CLIMÁTICO, AGUA Y TRIGO

En este apartado se exponen casos de estudios referentes al agua, cambio climático y el cultivo trigo; los casos se organizan por área geográfica, que van desde lo internacional, nacional y del municipio de Mexicali y su Valle. Además, se presentan algunas perspectivas en materia de desarrollo y agricultura como lo son las agendas internacionales y propuestas y lineamientos generales de las mismas.

2.1. Estudios de la eficiencia del agua en el trigo

En los estudios referentes al agua y el cambio climático se hallan los que se centran en la extracción de agua subterránea y la intrusión de agua marina a los acuíferos (Green y MacQuarrie, 2014). También los relacionados con el suministro, precipitación o recarga de este recurso, en donde se plantean las condiciones existentes y las futuras referente a la disminución del agua ante el cambio climático y la escasez que se presentará próximamente que tendrán impacto en la producción, disponibilidad, acceso y utilización de alimentos y que conducirá a una disminución de la seguridad alimentaria y mayor vulnerabilidad (Bates, et al. 2008).

Australia es un país que tiene problemas como amplias zonas áridas, limitantes hídricas y sobreexplotación de acuíferos, por lo que se han enfocado en los retos para hacer frente al cambio climático y la escasez de recursos. Ante este tipo de retos, las propuestas expuestas se encaminan a estrategias dirigidas a la coordinación y establecimiento de un plan de negocios regional incluyente a los diversos grupos y actores; estas estrategias se enfocan en aspectos hidrológicos, de producción con resultados ambientales y de mecanismos y procesos para el cambio. Además, se han implementado proyectos para los diferentes actores agrícolas y empresariales mediante la gestión integrada de recursos hídricos, planificación y desarrollo de asociaciones empresariales, así como procesos de implementación de infraestructura de la región (Maheshwari, Simmons, y Singh, 2012).

Respecto al continente europeo, se han realizado estudios que contemplan el cambio climático, el uso de agua, la agricultura y la productividad; en donde se considera el papel

multifuncional de la agricultura y las políticas que se han tomado en Europa ante el cambio climático. El estudio de Olesen y Bindi (2002) es el ejemplo de este tipo de estudios al plantear las consecuencias del cambio climático para la agricultura europea, el uso de suelo y las políticas. Además se describen grupos de cultivos y los efectos que el cambio climático aplica en estos.

Los efectos que se han registrado por el cambio climático en países de Europa se han expresado tanto negativa como positivamente. Regiones del norte de Europa han sufrido cambios positivos en materia de agricultura al introducirse nuevas especies y variedades, además de mayores áreas para cultivo. Esto a su vez, ha requerido protección de las especies nativas o ya existentes de la región y cambios en las políticas aplicables para la productividad agrícola ante el cambio climático. El caso del sur de Europa ha sufrido efectos negativos, en donde el aumento de la escasez de agua y fenómenos meteorológicos extremos han afectado el rendimiento agrícola, además de reducir las áreas cultivables. Por tanto, los cambios en política agrícola se han enfocado a adaptarse a las condiciones de cambio climático, intensificando la agricultura y eligiendo cultivos alternativos que vayan a la par del cuidado del ambiente y el consumo racional del agua (Olesen y Bindi, 2002).

Estudios en España (Medrano et al., 2007) se centran en la eficiencia en el uso del agua por las plantas, en donde se plantea que el uso del agua en sistemas agrícolas conforma una prioridad debido a su fuerte repercusión en el monto total de agua utilizada, al déficit hídrico, a los procesos naturales de las plantas y al clima en donde se desarrolla esta actividad ante la disponibilidad del recurso hídrico cada vez más limitado.

El caso Costarricense es un ejemplo en donde se han empleado diferentes enfoques de desarrollo a lo largo de la historia del país. Para el desarrollo rural sustentable se ha contemplado la agricultura y la hidrología dentro de los aspectos trascendentales de esta región. Actualmente este ámbito se enfoca en la reducción de la pobreza relacionado con la sociedad, el territorio, la calidad de vida y el desarrollo sustentable, contemplando los diferentes actores y creando políticas públicas y estrategias, diversificando la productividad en donde se hacen evidentes combinaciones de actividades agrícolas, comerciales y de servicio (Ávila, 2013).

En Argentina se han realizado estudios referentes al estrés hídrico, sus efectos sobre el rendimiento del trigo y la eficiencia de uso de agua, realizando un análisis de algunas

variedades de trigos y su fortaleza y rendimiento ante estrés híbrido, y concluyendo que hay especies poco tradicionales que permiten un aumento en la producción y más estabilidad en el rendimiento (Fernández, 2013). Villar (2010) realiza una estimación de rendimientos del trigo a partir del agua almacenada en el centro de Santa Fe, Argentina, con base en información sobre la economía del agua para el cultivo.

En Uruguay, otros estudios referentes al rendimiento, fenología y uso de agua en intersembra de trigo y soja en doble cultivo secuencial, en el cual se expone que la intersembra de soja en trigo permite el doble cultivo sin retrasar la siembra (Ernst y Bianculli, 2013).

Dell'Amico et al. (2016) en Cuba realizaron estudios acerca de la respuesta fisiológica del trigo con dos tratamientos de riego ante estrés hídrico, en donde se evaluó el efecto de los tratamientos de riego en el contenido de humedad del suelo, variables del desarrollo, las relaciones hídricas, el rendimiento y el uso eficiente del agua (WUE) en el cultivo.

Estados Unidos recientemente ha enfocado proyectos para contrarrestar el cambio climático y mejorar la recarga de los acuíferos y la administración hidrológica en la región, esto debido a que regiones como el oeste de Estados Unidos contempla áreas que van desde sitios con condiciones de humedad favorables para recarga, hasta sitios con condiciones áridas con poca o nula capacidad de recarga. Los efectos observados por el cambio climático en las recargas de los acuíferos en el oeste de Estados Unidos han presionado para que se efectúen modificaciones en el consumo y distribución del agua, ya sea para riego, consumo comercial, doméstico o industrial ante nuevas cifras del recurso hidrológico disponible (Meixner et al., 2016).

Daryll Ray, Daniel De La Torre y Kelly Tiller (2003) hacen un estudio de las nuevas consideraciones de la política agrícola de Estados Unidos en donde exponen el impacto en la situación de los agricultores y en general en la agricultura ante los subsidios efectuados en ese sector, los efectos de estas prácticas relacionadas con la pobreza y las políticas alternativas viables ante la problemática actual agrícola en donde estas acciones vayan encaminadas al proceso incluyente del agricultor, contemplando el ámbito económico y el social. En este mismo campo internacional se han hecho comparativos entre las políticas agrícolas de Estados Unidos, México y Brasil, en donde se analizan los programas e

instrumentos para este sector, las medidas macroeconómicas y el impacto que estas ejercen en los agricultores ante la comercialización internacional (Bohórquez, 2006).

Las políticas y acciones han comenzado a cambiar hacia una gestión más sostenible del agua en el sector agrícola; hoy en día se hace hincapié en las políticas para el tema del agua, y destacan que las medidas a adoptar deben tomar en cuenta los recursos hídricos de cada país y los factores positivos o negativos en cuestión medioambiental que se derivan al usar el recurso hídrico. Se plantea como aspecto trascendental el impacto que una política agraria puede afectar al cambio climático (OCDE, 2006).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), expresa que gestionar las expectativas de la comunidad en la agricultura es el principal reto del uso sostenible del agua en ese rubro. Ya que es necesario satisfacer sus aspiraciones sociales y ambientales, además de asegurar la producción competitiva y rentable de alimentos y fibras. Cabe mencionar que los avances en la productividad del agua alcanzados por el sector agrícola en los últimos 40 años han contribuido de manera importante a aumentar la producción de alimentos y fundar puestos de trabajo en áreas rurales, en tanto que los desechos contaminantes de esta actividad han descendido en muchas regiones de los países OCDE en años recientes.

En el plano nacional, se han hecho estudios encabezados por CONAGUA, en el que se hacen recomendaciones institucionales o normativas, acciones, programas y proyectos ante el cambio climático y el uso del agua (Herron, 2013). Muchos de los estudios radican en la medición de los niveles de precipitación y de disponibilidad del recurso hídrico; otros se enfocan en el estudio histórico de los índices de disponibilidad del agua contrastado a otras variables como demografía, suelo, precipitación, etc. (Quintas, 2011).

Los estudios técnicos también son destacados, en los que se enfocan a aspectos como la precipitación, evapotranspiración, humedad del suelo, escorrentías, entre otros. En este tipo de estudios se observan aspectos especializados en las demandas y disponibilidad, costos o impactos en los proyectos y medidas de mitigación por sectores (OMM, 2008). Otros estudios exponen la sustentabilidad agrícola bajo enfoques jerárquicos, en donde se utilizan indicadores simples y compuestos para el análisis de la sustentabilidad bajo cuatro niveles: el manejo de la tierra, el sistema de cultivo, el sistema de producción y el sistema del sector agrícola como un todo (Zinck et. al, 2005).

Bracamontes y Méndez (2011) escriben acerca de las políticas agrícolas y las estrategias que se han implementado en el Estado de Sonora, planteando las nuevas acciones orientadas a transformar los viejos patrones de producción, nuevas tecnologías, innovación, rediseño del apoyo agrícola y la reconversión productiva.

Dentro de los estudios que se han efectuado en la región del valle de Mexicali se encuentran los referentes a la salinidad, la gestión y el manejo del agua, tal como el autor Cortez lo plantea en su documento Gestión y manejo del agua: el papel de los usuarios agrícolas del valle de Mexicali, en donde se explora la capacidad de los usuarios agrícolas para la gestión de limitantes como la salinidad o los sedimentos arrastrados por el río; en este documento se establece un enfoque de análisis institucional y de desarrollo (Cortez, 2011).

Respecto al uso del agua en el cultivo de trigo, los autores Ríos, Torres y Ruiz (2015) hacen un estudio de la eficiencia y productividad del agua de riego en trigo de Ensenada y el Valle de Mexicali, en donde mediante fórmulas matemáticas realizan indicadores de eficiencia y productividad agrícola del agua física, económica y social.

En referencia al trigo, instituciones como la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SGARPA, 2010) ofrecen guías para la producción de trigo en específico para el valle de Mexicali y San Luis Rio Colorado con instrucciones técnicas para cada una de las etapas desde la preparación del terreno hasta la cosecha del cultivo.

Estudios técnicos se han enfocado en analizar las condiciones físicas del área de riego Rio Colorado 014 (área del valle de Mexicali y parte de Sonora), y los factores que afectan el rendimiento, como la salinidad, características edáficas, las texturas y el PH del suelo, haciendo de estos estudios muy especializados en lo físico y químico que repercute en lo económico después del sismo ocurrido el 4 de abril de 2010 para evaluar los posibles cambios en los ámbitos anteriormente mencionados (De la Torre, 2014).

Otros artículos también del valle de Mexicali enuncian acerca de los procesos productivos del trigo y su rendimiento ante aplicación de métodos de siembra y aplicación de nitrógeno, ante demandas internacionales de calidad del producto trigo (Orozco, 2014). En general, los estudios que se han realizado en cuanto al trigo en el valle de Mexicali se han encaminado mayormente al ámbito histórico, económico o técnico.

En la siguiente tabla (2) se muestra un cuadro resumen de algunos de los trabajos que han realizado estudios referentes al cambio climático y la afectación a la agricultura, en donde se consideran variables importantes para el análisis de dichas afectaciones. Esta tabla tiene por objetivo mostrar la coincidencia de las variables utilizadas en los estudios en los que se contempla al trigo.

Tabla 2. Cuadro resumen de variables de cambio climático y agricultura

Autor	Año	Título del documento	Variables	Cultivos
Nelson et al.	2009	Cambio climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación.	Rendimiento, calorías, precios, temperatura, precipitación.	arroz, trigo, maíz, soja, mijo, sorgo,
Juárez, Bojórquez, Soto	2011	Cambio climático y su efecto en la agricultura del futuro	Temperatura, CO ₂ , precipitación, rendimientos, calidad, fertilizantes.	producción,
IICA	2012	Impacto del cambio climático en la agricultura	Rendimiento, tecnología, temperatura, productividad, consumo, rentabilidad,	Maíz, trigo
GREENPEACE	2012	La agricultura mexicana y el cambio climático	Temperatura, viento, precipitación, rendimiento	Maíz, trigo, frijol, algodón, arroz, sorgo, cacahuates.
CEPAL	2011	Agricultura y cambio climático: instituciones, políticas e innovación.	Productividad, precipitación, temperatura	Soya, papa, maíz, arroz, frijol, trigo.
Olesen, et al.	2011	Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change	Superficie, técnica de extensión, producción, labranza, territorial, tecnología.	Trigo, maíz, cebada, uva,

Fuente: Elaboración propia con datos de: Nelson et al., 2009; Juárez, Bojórquez, Soto, 2011; IICA, 2012; GREENPEACE, 2012; CEPAL, 2011.

Con lo expuesto anteriormente, se muestra que los estudios que se han realizado para el valle de Mexicali en materia agrícola, se han encaminado a los social-histórico, a lo técnico ya sea físico o químico, a lo económico en la producción encaminada a la especialización de alguno de los productos en específico o en regiones en general sin llegar a lo específico; por tanto, no se ha hecho estudio alguno del comparativo en producción y eficiencia del consumo de agua del trigo en el valle de Mexicali para el CADER Delta que incluyan propuestas agrícolas para el desarrollo sustentable y la eficiencia en el uso de cultivos de bajo consumo de agua y el cambio climático.

2.2. Perspectivas y acuerdos del desarrollo sostenible y agricultura

En el documento emitido por Naciones Unidas (2015), llamado Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible de la Asamblea General, se expresa como el mayor desafío erradicar la pobreza extrema como requisito indispensable para el desarrollo sostenible; y dentro de los objetivos primordiales del cuidado del planeta se encuentra el protegerlo de la degradación mediante el consumo y producción sostenibles, además de promover la gestión sostenible de los recursos naturales y medidas urgentes para hacer frente al cambio climático en pro de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

La FAO (2015: 1) establece que la inversión en la agricultura es una de las maneras más eficaces de reducción de hambre y pobreza. Expone que muchos de los países que han invertido en agricultura de manera constante están en camino de alcanzar el primer Objetivo de Desarrollo del Milenio, es decir, reducir a la mitad la proporción de personas que padecen hambre. Establece que el cambio climático es una amenaza grave para la seguridad alimentaria mundial, y que usar los suelos de manera adecuada y sostenible puede jugar un papel preponderante para la mitigación del cambio climático a través del secuestro de carbono y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Esto a su vez ya que en los últimos 50 años casi se han duplicado las emisiones de gases invernadero de la agricultura, silvicultura y pesca, y de no haber cambio alguno, estas estadísticas podrían aumentar en un 30% para 2050.

La reunión *Agenda 21* incluyó dentro de los apartados del fomento a la agricultura y del desarrollo rural sostenible el aumento de la producción alimentaria de manera sostenible con la adopción de iniciativas en educación, incentivos económicos y desarrollo de tecnologías. Estas recomendaciones van encaminadas a la elaboración de planes y programas a mediano y largo plazo (ONU, 1992).

En términos nacionales, la Comisión Nacional del Agua acorde al Programa Hídrico 2014-2018 impulsa estrategias y programas en pro de la modernización y tecnificación del riego; estas propuestas se centran en el incremento de la producción y productividad sustentables prestando atención a lineamientos que contemplen a la seguridad alimentaria (CONAGUA, 2015). Además la Ley de Desarrollo Rural Sustentable de 2001 expone los

lineamientos que protegen e impulsan al área rural, entre ella el área agrícola en pro del usos sustentable de los recursos, ya sea el suelo, el agua o la flora ligados a la seguridad alimentaria y la producción de productos básicos y estratégicos (DOF, 2012).

La ONU (2001: 2) establece que alrededor del 75% de la población pobre vive en áreas rurales y uno de los grandes retos que se expresa es el mitigar la pobreza, conseguir seguridad alimentaria y asegurar la ordenación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. Es en este sentido, los conceptos de agricultura y desarrollo rural sostenible ofrecen un enfoque para conseguir esta meta al tener como objetivo principal el fortalecer la seguridad alimentaria de forma racional al medio ambiente, contribuyendo a la ordenación de los recursos naturales sostenibles. Enuncia que de acuerdo al continuo crecimiento de la población exigirá mayores aumentos en la producción agrícola, y que de acuerdo a la FAO (citado por ONU, 2001), el proceso de mundialización que se aceleró durante los 90's, ha influido en la producción agrícola y aprovechamiento de los recursos. En muchos países se ha incentivado la innovación en las prácticas de ordenación agrícola y de tierras. En el caso particular de México se da el caso a partir de 2001 en el que se presenta el modelo de desarrollo rural sustentable con la Ley de desarrollo rural sustentable en donde se establecen los conceptos, lineamientos, estrategias, planeación y coordinación del desarrollo rural y todo lo pertinente al tema (DOF, 2012).

De acuerdo al programa 21 (ONU, 1992) se precisa reajustar las políticas agrícola, ambiental y macroeconómica a todos los niveles (internacional, nacional, regional), teniendo como principal objetivo aumentar la producción de alimentos y mejorar la seguridad alimentaria de manera sostenible. Lo anterior demandó la adopción de iniciativas en los rubros de educación, el desarrollo de nuevas tecnologías apropiadas y el uso de incentivos económicos en pro de garantizar suministros estables de alimentos que sean adecuados nutricionalmente, el acceso de grupos vulnerables a los suministros, la protección del medio ambiente, la ordenación de los recursos naturales y la generación de ingresos para aliviar la pobreza.

Conocer la perspectiva internacional ante las políticas de cambio climático, uso del agua agrícola y producción alimentaria, sitúan al lector en un contexto de lo que se lleva a cabo y cuáles son las líneas de investigación que imperan en la actualidad, además permiten conocer metodologías que podrían ser aplicadas para otra área geográfica semejante y para

conocer qué se ha investigado y cuáles son las áreas de oportunidad, que en este caso se centran en la eficiencia del uso del agua en el trigo. En este capítulo se describieron algunas de las líneas internacionales en materia de desarrollo y agricultura que expresan la dirección en sus programas, y se plasmaron como antecedentes algunas de las temáticas referentes al consumo de agua y agricultura-trigo que se han investigado en Europa, Australia, Estados Unidos, entre otros.

3. ANTECEDENTES

Este capítulo integra datos históricos del área de estudio, acerca de la importancia del cultivo trigo en la historia de la región, de los suministros de los cuales depende el valle de Mexicali, de características físicas y geográficas de la zona de estudio y del trigo en general como la problemática de los precios y las condiciones que requiere para cultivarse. Además, se realiza una explicación general del contexto a nivel nacional, estatal y local del sector primario, agrícola y del trigo, enfatizando la descripción de la situación agrícola y el trigo en el valle de Mexicali, sus condiciones climáticas, de suelo y de recurso hídrico, para mostrar una caracterización del sitio de estudio.

3.1.El sector agrícola

3.1.1.El sector primario en México

De acuerdo con el Censo Agrícola, Ganadero y Forestal de 2007 (INEGI), se registró que las superficies de las unidades de producción sumaron 112 millones 734 mil hectáreas, representando esto más de la mitad del territorio del país. En cuanto a la situación de tenencia de estos 112 millones de hectáreas, el 62% se registró como propiedad privada, el 32% como propiedad ejidal, el 3.5% como comunal, y el resto como colonia y pública. Respecto a los derechos sobre la tierra, este mismo número de hectáreas (112 millones) se distribuyó en un 94.4% como propia, un 2.4% rentada, 1.4% prestada, 0.6% a medias, y el resto correspondió a otro tipo.

En el caso de la agricultura en México, para 2007 se registraron 31.2 millones de hectáreas de labor, en las que 29.9 millones se registraron como agrícolas y el resto (1.3 millones) se registraron como pastos naturales, agostadero o enmontada, de los cuales se sembraron alguna vez en esos últimos 5 años (INEGI, 2007).

En cuanto al cultivo particular del trigo, la relación producción-consumo para la región noroeste de México que engloba los estados de Nayarit, Sinaloa, Sonora, Baja California y Baja California Sur, tuvo como balance final -59,955 unidades; la producción ascendió a 2,392,775 unidades, el consumo fue de 1,719,759, y la exportación fue de 732,971

unidades. Cabe mencionar que esta región del país fue la única que registró exportaciones para dicho año (Mercados Agrícolas, 2011: 13).

Después del maíz, el trigo es el segundo cultivo en importancia para México, y su producción anual (del trigo) es de 3.4 millones de toneladas de acuerdo a cifras de 2011; por su parte, el consumo nacional se registra en 6.3 millones. En cuanto al procesamiento del trigo, México produce 3.5 millones de toneladas de harina que incluyen sémola de la cual procede el 43% de la producción nacional y el 57% del extranjero. El 65% del trigo que procesa la industria nacional es panificable, y el 26% es destinado a la elaboración de galletas, por lo que solo el 8% es destinado a pastas (SAGARPA, 2011).

3.1.2.El sector agrícola en Baja California

Baja California cuenta con 3,484,150 habitantes, siendo el 2.9% del total del país para 2015; tiene una extensión de 71,445.88 km² y es el 3.6% del territorio nacional. En cuanto a su distribución poblacional, el 91.9% es urbana y el 8.1% es rural. El 58.4% de la población en la entidad de trabajar se encuentra ocupada y el 5% de las personas ocupadas se encuentran laborando en el sector primario con una distribución a su vez del 89.4% en el área agrícola, un 6.5% en el pecuario, y un 4.1% en el pesquero. El PIB de la entidad es de 383,508 millones de pesos (para 2015), siendo esta aportación nacional del 2.9%. Específicamente para el PIB del sector primario, la entidad genera 10,930 millones de pesos, siendo el 2.8% del total de la entidad. En cuanto al volumen agropecuario y pesquero de producción, la entidad produjo 4,381,974 toneladas en el año 2015, siendo el lugar 21 a nivel nacional. El área agrícola produjo el 90% de la cantidad total de la entidad (3,942,859 toneladas), el pecuario el 6.4% (279,445 toneladas), y el pesquero con 3.6% (159,670 toneladas). Así mismo, los productos destacados han sido la fresa, el trigo grano, la carne en canal de bovino, leche de bovino, el atún y el erizo (SIAP, 2015).

En el Estado de Baja California, se siembran alrededor de 80 cultivos diferentes, en donde 52 de estos cultivos son de ciclo otoño-invierno o primavera-verano; estos cultivos también se clasifican en perennes y cíclicos, en el caso de los cultivos perennes se registran 26, que se registran como cultivos de carácter comercial con extensiones de terreno que van desde una hectárea hasta 50,000 hectáreas o más. Cabe mencionar que existen en el Estado

10 zonas productoras agrícolas, en donde las más destacadas se encuentran el Valle de San Quintín y el Valle de Mexicali (SEFOA, 2016). De los cultivo cíclicos, los más destacados son el trigo grano, algodón hueso, cebada forrajera, cebolla, avena forrajera y sorgo forrajero que representaron el 88%, siendo el trigo el de mayor superficie total sembrada en el Estado con un 52% (SIAP, 2014).

Aunado, se destaca que el sector primario en Baja California es uno de los más predominantes en uso de extensión territorial en la entidad con el 16.18% (244,328 ha) de la superficie del Estado se destinada al sector agrícola; de este porcentaje agrícola el 23.72% (57,968 ha.) en la modalidad de temporal, y el 76.27% (186,360 ha.) en modalidad de riego (SIAP, 2014).

Los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa engloban el 63.18% del trigo que se siembra de todo el país con una extensión anual de 457,419 ha, de acuerdo a cifras de 2011. “En estos estados, el trigo crece en ambientes diferentes de clima, suelos, calidad de agua, problemas fitosanitarios etc. Por lo que para mantener el nivel de productividad en estas áreas es necesario crear y/o seleccionar variedades con características específicas sobresalientes...” (SAGARPA, 2011:4).

3.1.3.El sector agrícola en Mexicali

Mexicali es un municipio fundado oficialmente en 1903, siendo este la capital y uno de los 5 municipios que conforman el Estado de Baja California. Mexicali nace con vocación agrícola y desde su fundación ha tenido una estrecha relación con la producción de exportación y con el extranjero, pues desde su origen los terrenos agrícolas eran rentados, comprados o utilizados por estadounidenses, chinos, hindúes, japoneses, entre otros. Cabe mencionar que después del asalto a las tierras en 1937, la propiedad y el empleo en el área agrícola paso a manos de mexicanos, pero hasta periodos actuales se conserva el enfoque de exportación (Gobierno de Baja California, 2016).

De acuerdo a INEGI (2016), la superficie continental para Mexicali en 2005 fue de 14,541.44 km² y de esta, de la cual, la superficie destinada a agricultura fue de 2,340.70 km² para el mismo año. La superficie del área sin vegetación fue de 2,530.62 km², y la superficie de áreas urbanas registradas para 2010 fue de 220.92 km². La población total del municipio

en 2010 fue de 936,826 personas, con una edad mediana de 27 años, y para ese mismo año, las viviendas particulares habitadas (VPH) registraron un total de 265,730 unidades, y un promedio de 3.5 ocupantes para cada VPH.

En materia agrícola, se registró para 2011 que la superficie total sembrada para Mexicali fue de 159,237 hectáreas, y una superficie total cosechada de 157, 614 hectáreas (INEGI, 2016). En cuanto al uso de suelo para agricultura en el año 2005, este representó un 16.41% de la superficie, destacando que las zonas urbanas han invadido terrenos que en anterioridad eran para uso de agricultura y matorrales en la región (INEGI, 2009).

3.1.4.El valle de Mexicali, Distrito de Riego 014

El distrito de riego al que pertenece el área del valle de Mexicali es el 014 Río Colorado, y se integra desde 1998 con la concesión federal para operar, conservar y administrar la infraestructura hidráulica de la red mayor del distrito de riego 014 Río Colorado el cual contempla al valle de Mexicali en Baja California y al valle de San Luis Río Colorado en Sonora (Distrito de Riego Río Colorado). Este distrito se extiende a una superficie total de 208,620 hectáreas, y es uno de los más representativos del país, en cuanto a extensión y producción nacional.

Para el distrito del Río Colorado, los principales 10 cultivos cíclicos y perennes de 2014 en modalidad de riego y temporal en orden de importancia fueron: Trigo grano, Alfalfa verde, Algodón hueso, Cebolla, Esparrago, Lechuga, Cilantro, Dátil, Brócoli y Ajo. Estos cultivos representaron una producción de 2,814,018 toneladas y un valor de producción de 5,066,267,620 (SIAP, 2014).

De acuerdo a CONAGUA (2010), la superficie sembrada y cosechada para el distrito 014 Río Colorado para el periodo 2008-09 en cultivo de trigo fue de 104,535 hectáreas, el rendimiento tonelada/hectárea fue de 6.53 unidades, con una producción de 682,614 toneladas y un precio medio rural por tonelada de 3,967, lo que resultó en un valor de cosecha de 2,707,927.95 miles de pesos.

En cuanto a la serie histórica del trigo en el valle de Mexicali desde 1987 hasta 2011 en el ciclo otoño-invierno, el aumento de la superficie sembrada ha sido de 15,646 hectáreas,

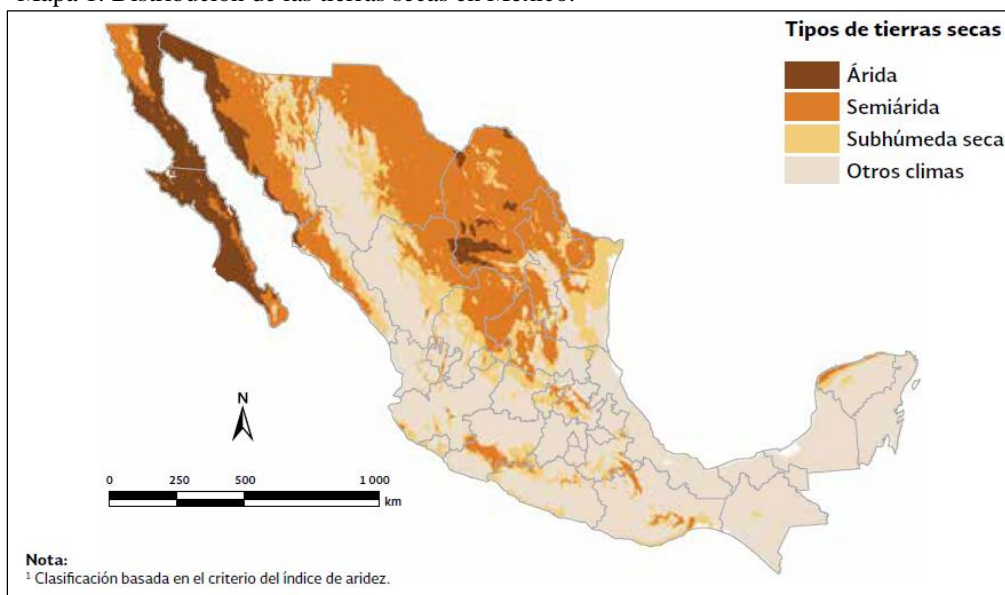
pasando de 56,560 ha a 72,206 ha.; para el mismo periodo la superficie cosechada tuvo una expansión de 19,055 hectáreas, pasando de 53,098 ha a 72,153. En el caso del rendimiento, se registró para este mismo cultivo (trigo) de 4.578 a 6.462 toneladas por hectárea; en cuanto a la producción en toneladas, para el mismo periodo pasó de 243,096 toneladas a 466,247, siendo el aumento de 223,151 toneladas. Cabe mencionar que para todas las cifras anteriores se registraron fluctuaciones a lo largo de los años (SEFOA, 2013).

3.2. La agricultura y el agua del municipio de Mexicali

El clima

Dentro de las condiciones del contexto físico para el área de Mexicali, se encuentra el clima, el cual es un caso especial por los extremos de temperatura que registra especialmente en verano, y que hacen de esta área geográfica un lugar peculiar tanto para vivir como para las actividades productivas.

Mapa 1. Distribución de las tierras secas en México.



Fuente: SEMARNAT, 2013.

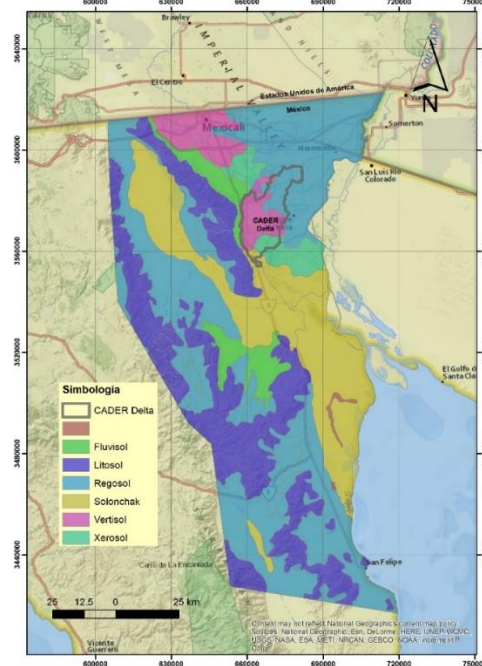
En el apartado de Impactos urbanos: ondas de calor en tres ciudades de México (Tejeda, Castillo y García-Cueto, 2010) se expone en un estudio de 1951 a 2006, que las ondas de calor han sido en 2.5 veces más que en la década de 1971 a 1980, y que el verano

es más caliente y más extenso que hace veinte años; recalcando que los niveles de temperatura máxima de verano en el estudio del periodo de 1951 a 1980 se registraron entre los 36°C y 44°C.

El clima en el municipio de Mexicali es muy seco muy cálido y cálido en un 52% de la superficie, muy seco semicálido en un 35% de la superficie, seco mediterráneo templado en un 4%, muy seco templado en el 9% del área del municipio, semifrío subhúmedo con lluvias en invierno en menos de 1% del área, y templado subhúmedo con lluvias en invierno con menos de 1% de la superficie del municipio (INEGI, 2009).

El suelo

Mapa 2. Principales grupos de suelo de Mexicali, Baja California.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2014.

En Baja California, los tipos y asociaciones de suelos que destacan son los regosoles, litosoles y yermosoles, de los cuales, los regosoles son los predominantes pues representan aproximadamente 46% de la superficie de la entidad. Este tipo de características edafológicas y el recurso hídrico han sido aspectos trascendentales para el desarrollo de actividades agrícolas en la región de Mexicali, Tecate, Ensenada, Valle de las Palmas, Ojos Negros, San Quintín, Maneadero y Valle de Guadalupe (Gobierno de Baja California, 2016).

El CADER Delta presenta todos los tipos de suelos que se encuentran a lo largo del valle de Mexicali, pero en este destacan los vertisoles y regosoles los cuales tienen peculiaridades para la siembra de cultivos.

El suelo regosol permite desarrollar diferentes tipos de vegetación pues su fertilidad es variable y su uso agrícola es condicionado por la profundidad y pedregosidad que presenta. El suelo vertisol es un suelo arcilloso generalmente muy fértil pero con problemas por la dureza y la salinidad que puede presentar, aunque generalmente da buenos rendimientos en la agricultura (Gobierno de Baja California, 2016).

El agua

El agua que llega al municipio de Mexicali responde a suministros nacionales y tratados internacionales, específicamente con Estados Unidos, que desde hace algunas décadas (1944) se acordó para ambas partes pues geográficamente comparten áreas y regiones hidrológicas. El tratado de aguas nacionales realizado entre México y Estados Unidos en 1944, (Acosta, 2003) en su artículo 3ro. expresa el orden de preferencia en los asuntos que a este tratado se refiere, poniendo en primer instancia el uso doméstico y municipal, en segundo lugar la agricultura y ganadería, y en tercer lugar la energía eléctrica, esto por mencionar los primeros tres en importancia. En este tratado se asigna para México un volumen de 1,850,234,000 metros cúbicos por año por parte del Río Colorado, y se especifican los límites mínimos y máximos de entrega de metros cúbicos según el mes de año y la calidad del agua que corresponden.

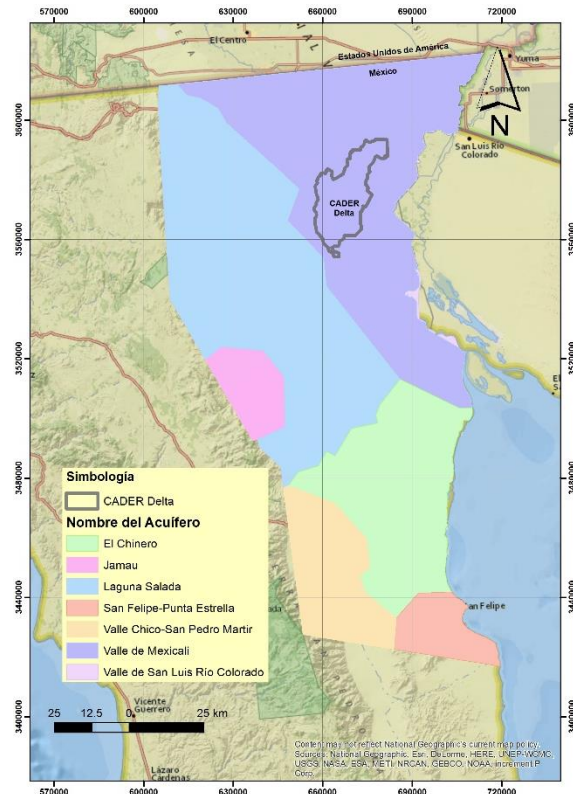
La principal fuente de abastecimiento del valle de Mexicali y valle de San Luis son el Río Colorado, los pozos de la Mesa arenosa de San Luis y los pozos federales en la zona acuífera del valle de Mexicali y San Luis (Elenes, 2009: 9). Pero en su artículo 10 se establece que en los casos en los que se registre sequías extraordinarias en Estados Unidos, y que haga difícil entregar la cantidad antes mencionada a México, se reducirá esta entrega en la misma proporción que se reduzcan los consumos en Estados Unidos (CILA, 2016). Esto da por resultado una alta dependencia del área noroeste mexicana en términos hidrológicos, por lo que una adecuada administración es pertinente ante cambios en el suministro.

El Río Colorado nace desde Estados Unidos en las Montañas Rocallosas y desemboca en México hasta el Golfo de California. Su fuente principal surge desde la altitud de 2.700 metros sobre el nivel del mar, y tiene alrededor de 2 334 km de largo con un caudal medio aproximado de 620 metros cúbicos por segundo (m³/s) (Elenes, 2009).

La cuenca a la que pertenece se extiende alrededor de 629 100 km², y desde 1922 ha sido dividida en cuenca alta y cuenca baja. La cuenca alta contempla gran extensión de las llanuras desérticas de los Estados de Colorado, Nuevo México, Utah, Wyoming, y la cuenca baja los Estados de Arizona, Nevada y California. En el lado mexicano, integra áreas de Baja California y Sonora (Elenes, 2009).

En el caso específico de Mexicali, es integrante de la Región Hidrológica de la Península de Baja California, misma que incluye a los Estados de Baja California y Baja California Sur. Esta región hidrológica refleja ser la más seca de todo el país en un estudio realizado en el periodo de 1971 a 2000, con 169 mm anuales; a pesar de esto, el uso del agua se destina en un 78% al uso agrícola, según lo registrado para el año de 2013 (CONAGUA, 2014).

Mapa 3. Acuíferos del municipio de Mexicali, Baja California.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2014.

En términos estatales, el acuífero del valle de la subregión de planeación de Baja California para 2005 muestra los acuíferos existentes para el Estado, y si estos están en equilibrio o en sub o sobreexplotación; además de exponer si hay o no intrusión marina en la zona. En el caso del valle de Mexicali, la condición de esta área se encuentra en equilibrio y no ha habido intrusión marina; de esta se extraen 718.20 hms³ por año, teniendo una recarga media de 700.00 con una relación extracción/recarga de 1.03 (IEL, 2015).

Baja California cuenta con 43 plantas de tratamiento de agua residual para 2015, las cuales tienen una capacidad instalada de 7.78 m³/s, y un caudal tratado de 5.480 m³/s , además se presenta una eficiencia de tratamiento del 60% al 90% (CONAGUA, 2015).

3.2.1. Origen del valle de Mexicali, breve pasaje histórico

Mexicali y su valle tienen una historia agrícola que data de principios de 1900 pues a partir de 1901 se iniciaron las primeras etapas de irrigación en el valle de Mexicali que desplegaron oportunidades de desarrollo agrícola de la región, lo que atrajo capital extranjero a la zona en especial en la etapa de 1916 a 1930. Para 1904 la lista de cultivos sembrados en la zona no era mayor a diez, en donde predominaba la siembra de alfalfa y cebada, y el número de habitantes no rebasaba las 400 personas. La región tuvo gran dinamismo con la producción de algodón y la comercialización de terrenos, y a partir de 1910 gran cantidad de empresas extranjeras, mayormente del sur de California (Estados Unidos) comenzaron a invertir fuertemente en estas dos actividades (Almaraz, 2007).

Lo anterior fue posible gracias al recurso hídrico proveniente del Río Colorado que nace desde las Montañas Rocallosas en Estados Unidos y que es el cuerpo de agua más largo de la vertiente del Océano Pacífico; este desemboca en el delta mexicano localizado en el valle de Mexicali y San Luis Río Colorado (Grijalva, 2014: 14).

Parte de la problemática del agua proviene de la dependencia del suministro de agua del que depende Mexicali y su valle, por ser un tratado internacional entre Estados Unidos y México y los acuerdos de agua entre ambos, que están sujetos a la disponibilidad de Estados Unidos.

En el tratado internacional de Aguas entre México y Estados Unidos (1944) se establece en el artículo 10 y 15 que Estados Unidos debe brindar como mínimo a los Estados

Unidos Mexicanos 1 mil 850 hm³ por año y como máximo 2 mil 97 hm³ por año del Río Colorado. El volumen garantizado de 1, 850, 234, 000 m³ cada año, y cualquier otro volumen que llegue a México por derivación, en entendido que cuando a juicio de la Sección de los Estados Unidos, en cualquier exista en el río Colorado agua en exceso de la necesaria para abastecer los consumos en los Estados Unidos y el volumen garantizado anualmente a México, Estados Unidos tiene la obligación de entregar a México, cantidades adicionales de agua del sistema del río Colorado hasta por un volumen total que no sea mayor de 2 096 931 000 metros cúbicos por año. Además se aclara que México no adquirirá ningún derecho fuera del que se estipula al volumen de 1 850 234 000 metros cúbicos anuales.

El Estudio de Plan de Manejo Integrado del Acuífero Valle de Mexicali, Baja California, y Plan de Manejo Integrado del Acuífero Valle de San Luis Río Colorado, Baja California y Sonora expuesto por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua establece que se extraen 900 hm³ al año del acuífero, de los cuales 700 hm³ se dirigen a la agricultura y 200 hm³ para la provisión de agua potable (2017).

3.2.2. Problemática del agua en el valle de Mexicali

La problemática del agua proveniente del Río Colorado es un evento frecuente para los usuarios del valle de Mexicali. Dentro de la problemática se encuentran la salinidad a niveles elevados que afectan la calidad del agua que se recibe en el lado mexicano y por efecto, la calidad de riego y suelos agrícolas; los sedimentos que la corriente arrastra desde el área americana y la competencia por el suministro del recurso hídrico subterráneos que proviene de infiltraciones del Canal Todo Americano que se acentúa con la eliminación de volúmenes de buena calidad provenientes de este suministro (Cortez, 2011).

Esta problemática se ha acentuado por la creciente escasez que se deriva de la degradación de los cuerpos de agua, por el crecimiento poblacional que demanda más recurso hídrico, por las actividades económicas y el contexto árido de la zona (Cortez, Whiteford y Chávez, 2005, citado por Cortez, 2011). Cabe destacar que la zona del valle de Mexicali es parte de la región Hidrológica que cuenta con el histórico más bajo de precipitación pluvial, es decir, es la región hidrológica más seca del país en términos de lluvia (CONAGUA, 2013).

Al estar conectados con Estados Unidos en el suministro de aguas tanto subterráneas como de aguas superficiales, México y en particular Mexicali dependen de los acuerdos que se han concretado y están sujetos a las modificaciones que a estos suministros se hagan. Un ejemplo es la Ley Pública 100-675 por parte de Estados Unidos en el año 1988, en donde se acordó encementar el Canal Todo Americano y el Canal Coachella. Dichas modificaciones cesarían el 90% de las filtraciones que iban a parar al Acuífero del Valle de Mexicali-Mesa San Luis, con lo que México por su parte inició un litigio internacional.

Otro aspecto de la problemática del agua del valle de Mexicali y San Luis es la deficiencia de la irrigación en los cultivos por los cuales se pierde al menos 500mm³ por año, es decir, 1000mm³ por ambos valles, además del creciente incremento de la población, los cambios climáticos y en efecto las modificaciones en los suministros por parte de Estados Unidos (Elenes, 2009).

3.2.3. Sistema producto trigo

El término *Triticum spp* designa a los cereales cultivados o silvestres del género *Triticum*; estas son plantas que se cultivan en todo el mundo, pertenecientes a las plantas anuales de la familia de las gramíneas. La palabra *trigo* se utiliza tanto para las semillas como para la planta en general. Este cereal es uno de los más producidos a nivel mundial, al igual que el maíz y el arroz y es el principal cereal consumido en la civilización occidental. El grano de este cereal se utiliza para hacer harina, sémola, harina integral, cerveza y otros muchos productos para la alimentación (OEIDRUS, 2016).

La palabra «trigo» proviene del vocablo latino *triticum*, que significa ‘quebrado’, ‘triturado’ o ‘trillado’, haciendo referencia a la actividad que se debe realizar para separar el grano de trigo de la cascarilla que lo recubre. *Triticum* significa, por lo tanto, "(el grano) que es necesario trillar (para poder ser consumido)"; tal como el mijo deriva del latín *milium*, que significa "molido, molturado", o sea, "(el grano) que es necesario moler (para poder ser consumido)". El trigo (*triticum*) es, por lo tanto, una de las palabras más ancestrales para denominar a los cereales (las que se referían a su trituración o molturación) (OEIDRUS, 2016: 1).

Este cultivo tiene requerimientos edafológicos como la textura, el potencial hidrogeno (PH) o conductividad eléctrica especiales para un óptimo desarrollo. En la textura el suelo franco es el más apropiado, y los suelos arcillosos y arenosos también son considerados adecuados, en tanto que tengan un buen sistema de drenaje y no presenten alta acidez y sodicidad (SAGARPA, 2012: 5).

El PH adecuado para el cultivo de trigo en lo suelos esta entre el 6.0 y el 7.5, y una variación fuera de este rango puede deteriorar el sistema radical, además de provocar toxicidad o precipitación de ciertos nutrientes (SAGARPA, 2012).

La conductividad eléctrica está relacionada con la salinidad de los suelos ya que esta es uno de los factores limitantes en suelos áridos o semiáridos, debido a que la sales reducen el potencial del suelo y la disponibilidad del agua para el cultivo, independientemente de que la zona este humedecida. En el caso del cultivo de trigo, los suelos deben tener una conductividad eléctrica menor a 6.0 dS/m, y un nivel mayor afecta negativamente en el rendimiento del cultivo (SAGARPA, 2012: 6).

Dentro de las variedades de trigo se encuentra el trigo cristalino o duro (*Triticum durum* L.), que como su nombre lo expresa tiene la característica de ser un tipo de grano muy duro. Es usado en la elaboración de pastas alimenticias y tiene “Un endospermo con alto contenido de pigmento amarillo (carotenoides), un gluten fuerte y tenaz (no extensible)” (SAGARPA, 2011: 5). Otro tipo de trigo utilizado en el valle de Mexicali es el trigo harinero (*Triticum aestivum* L.), el cual se utiliza para la elaboración de repostería, panes, galletas y tortillas. Este tipo de trigo tiene como característica un gluten fuerte (muy elástico y extensible) (SAGARPA, 2011: 15).

Comercialización

En referencia a la comercialización y el precio del trigo, se han suscitado problemáticas en el valle de Mexicali que se hacen cada vez más recurrentes y destacadas. El precio de cultivos como el trigo y el maíz, es determinado y está directamente afectado por el precio y variaciones del resto del mundo (Barkley, Lanier y Garay, 2011). Este precio es dictado por los mercados internacionales comúnmente situados en Estados Unidos y que dictan el parámetro del precio que en México se establece (ASERCA, 2017).

La problemática del trigo tanto en el valle de Mexicali como en otros lugares de México es referente a la creciente producción de granos como el trigo, el sorgo y el maíz, directamente relacionada con la creciente población mundial o la producción de biocombustibles que demandan de dichos cultivos. Por el contrario, el precio de estos ha ido en decremento y a pesar de que las políticas internas de México se ven encaminadas a la resolución de la problemática de producción, compra y precio del trigo, el análisis de los precios para el caso de los tres cultivos refleja decrementos constantes, siendo esto una barrera importante para seguir sembrándolos (CEDRSSA, 2015).

Cabe mencionar que México consume más trigo del que produce, por lo que importa del extranjero el faltante; estas políticas de regulación de precios interna basada en importaciones resulta costosa en gasto, lo que añade complejidad a la situación productora del trigo y los precios a establecer (Martínez y Hernández, 2012).

Con base en información de precios para el periodo 2003-2015, se observa que en promedio el precio medio rural para el trigo reportado por el SIAP fue de 2,385 pesos, presentando su valor más bajo en 2003 que fue de 1,580 pesos y el más alto en el año 2007, alcanzando un valor de 3,680 pesos” (CEDRSSA, 2015: 16).

La tendencia internacional de los precios para maíz y trigo reflejan caídas constantes hasta 2015 y prevén repuntes hasta 2024 de acuerdo al reporte del USDA en proyecciones agrícolas a 2024, y específicamente para el trigo se estima un crecimiento del comercio mundial (citado por CEDRSSA, 2015). El precio del trigo al estar ligado a mercados internacionales es altamente volátil, y es uno de los principales problemas para el productor de trigo mexicano, el cual concibe una baja rentabilidad económica para este cultivo, como ejemplo se expone que para 2015 el precio promedio del trigo fue de 158.6 dólares por tonelada, en tanto que de enero a julio de 2016 el precio promedio fue de 157 dólares por tonelada, es decir un decremento del 15% en el precio del trigo. Aunado a este problema, se encuentran los altos costos de producción, uso ineficiente del agua para el riego, uso excesivo de fertilizantes o el desgaste de los suelos. Esta problemática nacional de los productores de trigo se ve reflejada en la situación del valle de Mexicali y sus productores para trigo (López, 2016).

Manejo del agua en el cultivo

Para hacer uso óptimo del agua en los cultivos, es importante conocer el nivel de consumo de agua que es necesario en la evapotranspiración del cultivo, el cual es afectado por el clima, tipo de suelo, topografía, suministro y calidad de agua, tipo de cultivo, fecha de siembra, aplicación de agroquímicos; siendo el agua y la temperatura los principales factores que controlan la distribución de la vegetación en el planeta, y siendo este recurso hídrico el necesario para las funciones estructurales, metabólicas y fisiológicas de la planta (INIFAP, 2008; Alegria, 2016). La evapotranspiración del cultivo es definida como “la suma de la cantidad de agua utilizada por el cultivo, en la transpiración para la construcción de tejidos, más el agua que se evapora del suelo donde se desarrolla la planta” y se mide regularmente en milímetros por unidad de tiempo (INIFAP, 2008: 5). Además, la necesidad de agua del cultivo (lámina) se pueden clasificar en dos fases: el requerimiento neto de riego y el requerimiento bruto de riego, entendiendo al primero como la cantidad de agua que necesita el cultivo en relación a su evapotranspiración en cualquier etapa de su ciclo y la resta de la existencia previa de agua en el subsuelo, la aportación del manto freático y la precipitación efectiva; el segundo concepto se entiende como la cantidad de agua de bombeo del subsuelo o del canal de riego para ser aplicada a la parcela. En este último concepto el método de riego influye en la eficiencia para la transportación, aplicación y almacenamiento del agua en las raíces del cultivo (Jensen, Burman y Allen, 1990).

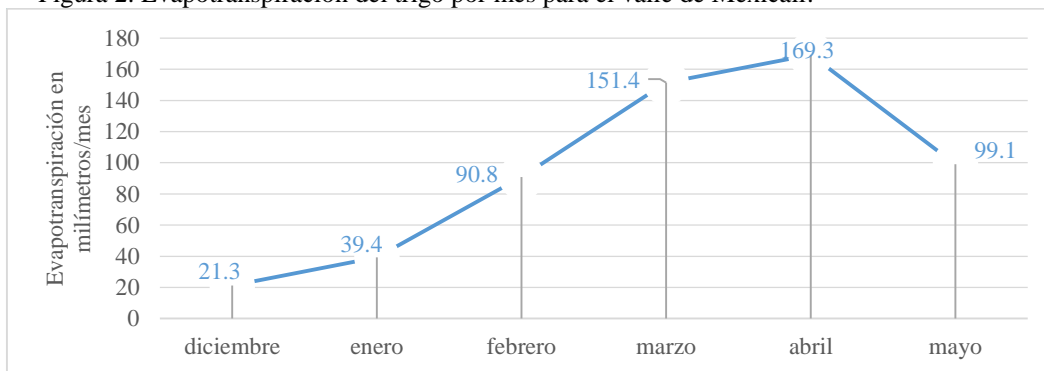
En cultivos cíclicos como los son los granos y oleaginosas de otoño-invierno (trigo, maíz y frijol) las láminas brutas y netas van de los 56 hasta los 115 centímetros. El caso específico del trigo tiene un consumo de lámina de riego promedio de 98 centímetros como lámina bruta y 68 centímetros como lámina neta. Esto de acuerdo a los datos registrados de 1990 a 2003 proporcionados por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Comisión Nacional del Agua, Compendio Básico del Agua en México y CNA.

De acuerdo a Aldaya (2012), el promedio global de la huella hídrica del trigo es de 1 m³ de agua por kilogramo de trigo producido. Esto lo corrobora Hoekstra, (2017), exponiendo que se requieren 1,300 litros por kilogramo de trigo. UNESCO (2017) enfatiza que se

necesitan alrededor de 800 litros de agua para producir 1 kilogramo de trigo, y alrededor de 1600 litros para producir una barra de pan (Water Footprint Networks, 2017).

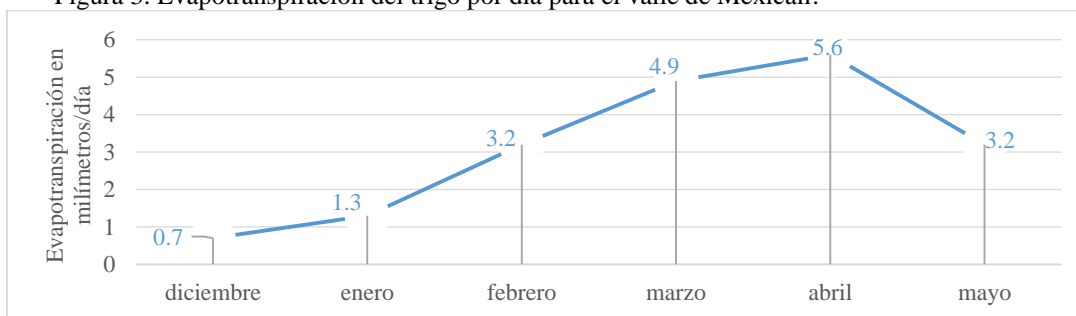
En cuanto a la evapotranspiración del cultivo trigo para el valle de Mexicali, el consumo total del ciclo es de 57 centímetros y tiene un comportamiento senoidal, tal como se puede apreciar en las figuras siguientes 2 y 3 (INIFAP, 2008):

Figura 2. Evapotranspiración del trigo por mes para el valle de Mexicali.



Fuente: INIFAP, 2008.

Figura 3. Evapotranspiración del trigo por día para el valle de Mexicali.



Fuente: INIFAP, 2008.

En estas figuras (2 y 3) se muestra la evapotranspiración por mes y por día del periodo diciembre a mayo de acuerdo a INIFAP para 2008, esto permite conocer las condiciones que necesita un cultivo como el trigo en cuanto al consumo hídrico y su evapotranspiración.

En términos de evapotranspiración y de la forma de manejo del agua para la siembra y el regadío de los cultivos, se encuentran los métodos de irrigación, los cuales se clasifican en: irrigación por inundación, irrigación por surcos, capsulas porosas, irrigación por botes de barro, irrigación localizada por goteo y microaspersión, irrigación por aspersión, y pivote central (FAO, 1997). El caso específico del CADER Delta del valle de Mexicali, el 100% de

las siembras y cosechas para el cultivo trigo de ciclo otoño-invierno se efectúa mediante riego rodado (SAGARPA, 2016).

3.3. Diagnóstico del manejo del agua en CADER Delta del valle de Mexicali

De acuerdo a CONAGUA (2010), para el ciclo agrícola 2008/09, en el apartado hidrométrico por entidad federativa enuncia que Baja California tuvo 16,650 usuarios, una superficie física regada de 197,364 hectáreas y un volumen distribuido de 2,573,712 miles de m³. En cuanto a la cuenca correspondiente es la número 701, llamada Río Colorado, de la región hidrológica de la península de Baja California. Su clasificación se encuentra con disponibilidad de un volumen de 161.28 hm³ (CONAGUA, 2015).

Un distrito de riego se define como:

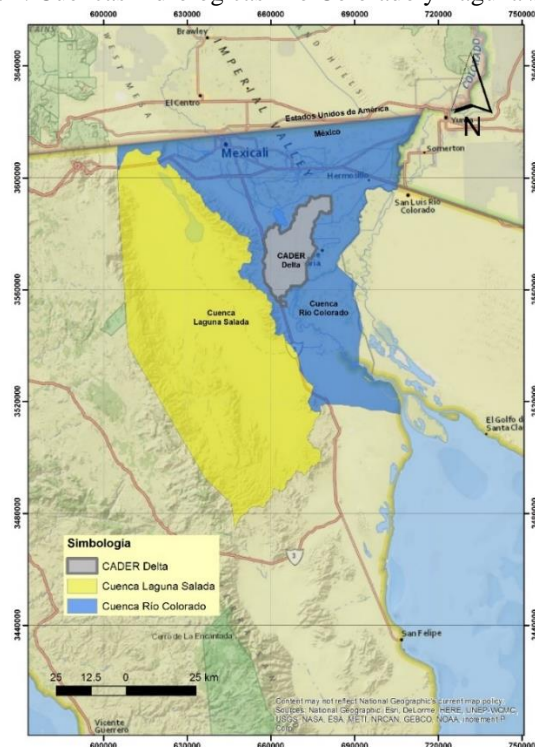
El establecido mediante decreto presidencial, conformado por una o varias superficies previamente delimitadas y dentro de cuyo perímetro se ubica la zona de riego. Cuenta con obras de infraestructura hidráulica, aguas superficiales y del subsuelo, así como con sus vasos de almacenamiento, zona federal, zona de protección y demás bienes y obras conexas, pudiendo establecerse también con una o varias unidades de riego (CONAGUA, 2010: 323).

En cuanto al derecho de agua superficial y el precio para esta región son los siguientes: en la acuicultura y sector agropecuario es de 0.36 centavos/m³ y un precio por cada m³ que exceda del concesionado en el agropecuario de 16.32 centavos/m³; en balnearios y centros recreativos el precio es de 1.06 centavos/m³, y la generación hidroeléctrica en 4.94 centavos/m³ (CONAGUA, 2015).

La cuenca a la que pertenece el valle de Mexicali es la del Río Colorado que va desde los límites internacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América hasta su desembocadura en el Mar de Cortés, con un área de 6,193.30 km², corresponde a la Región Hidrológica I Península de Baja California, y cuenta con una disponibilidad media de 131.28 hm³. Esta cuenca tiene un volumen medio anual de escurrimiento natural de 11.28 hm³, y un volumen anual de extracción de agua superficial de 1,729.11 hm³, de acuerdo a información para el año 2015 (CONAGUA, 2015) (ver mapa 4).

Para el año 2015 el municipio de Mexicali tuvo un volumen total concesionado para usos consuntivos de 2445.759 hm³. En 2015 el volumen concesionado para usos consuntivos para la Región Hidrológica de Baja California fue de 2,002.5 hm³ de fuente subterránea, distribuida en 1,441.8 hm³ para el área agrícola, 340.4 hm³ para abastecimiento publico, 24.9 hm³ para la industria, y 195.4 hm³ para termoeléctricas.

Mapa 4. Cuencas hidrológicas Río Colorado y Laguna Salada.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2014.

En el caso de fuente superficial el volumen concesionado es de 1,955.7 hm³, los cuales se distribuyen en el área agrícola con 1,760.5 hm³. 122.9 hm³ en abastecimiento publico, 71.9 hm³ en industria autoabastecida, y 0.4 hm³ para termoeléctricas (CONAGUA, 2015).

Para el caso específico del cultivo de trigo del distrito 014 Río Colorado, se muestra el siguiente cuadro que contempla datos como la superficie regada, el volumen distributivo y la lámina bruta (ver tabla 3).

El Distrito 014 registró para el ciclo agrícola 2008-2009 de acuerdo a la superficie física regada en el año por hectárea un número de usuarios de 11,885, siendo para un solo cultivo un número de 129,064 hectáreas regadas por gravedad y 68,300 regadas por bombeo de pozos, dando un total de 197,364 hectáreas totales; además de un volumen distribuido de

1,814,444 expresado en miles de m³, y una lámina bruta media de 141 cm; en el caso del volumen distribuido por bombeo de pozos se registró 759,262 miles de m³, resultando un total de 2,573,712 miles de m³ para ambos tipos de aprovechamiento (gravedad y bombeo) (CONAGUA, 2010).

Tabla 3. Número de usuarios, superficie regada, volumen distribuido y lámina bruta del Distrito 014 Río Colorado, según aprovechamiento y tenencia para año agrícola 2008-2009.

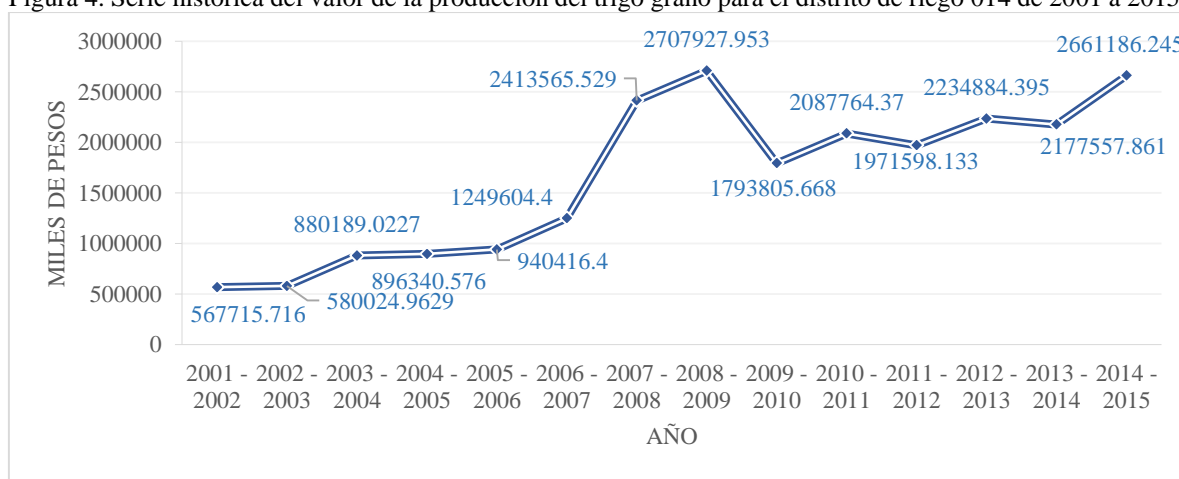
	<i>Gravedad Derivación</i>			<i>Bombeo-Pozos</i>			<i>Resumen</i>		
	Ejidal	Privada	Total	Ejidal	Privada	Total	Ejidal	Privada	Total
<i>Área física en que se obtuvo un solo cultivo en el año agrícola (área física total regada en el año agrícola)</i>									
<i>Número de usuarios</i>	3596	8289	11885	2347	2418	4765	5943	10707	16650
<i>Superficie Regada (Ha)</i>	77912.2	51151.8	129064	41276.6	27023.4	68300	119188.8	78175.2	197364
<i>Vol. Dist. (Miles m³)</i>	1125374	689070	1814444	457300.6	301967.4	759268	1582675	991037.3	2573712
<i>Lámina Bruta (cm)</i>	144.4	134.7	140.6	110.8	111.7	111.2	132.8	126.8	130.4

Fuente: CONAGUA, 2010, SAGARPA, 2010.

3.4. Serie histórica de estadística del trigo grano del Distrito de Riego 014

Es importante conocer el comportamiento de la producción, rendimiento y precio del trigo en el valle de Mexicali, por lo que las series históricas que se muestran a continuación reflejan la tendencia para el distrito de riego correspondiente de manera gráfica. La figura 4 refleja el comportamiento desde el año 2001 hasta el año 2015 y en ella se pueden apreciar los puntos clave por año expresados en miles de pesos. Las siguientes figuras fueron elaboradas con datos proporcionados por CONAGUA (2016) para una mejor ilustración del comportamiento del valor de la producción del cultivo trigo (ver figura 4).

Figura 4. Serie histórica del valor de la producción del trigo grano para el distrito de riego 014 de 2001 a 2015.

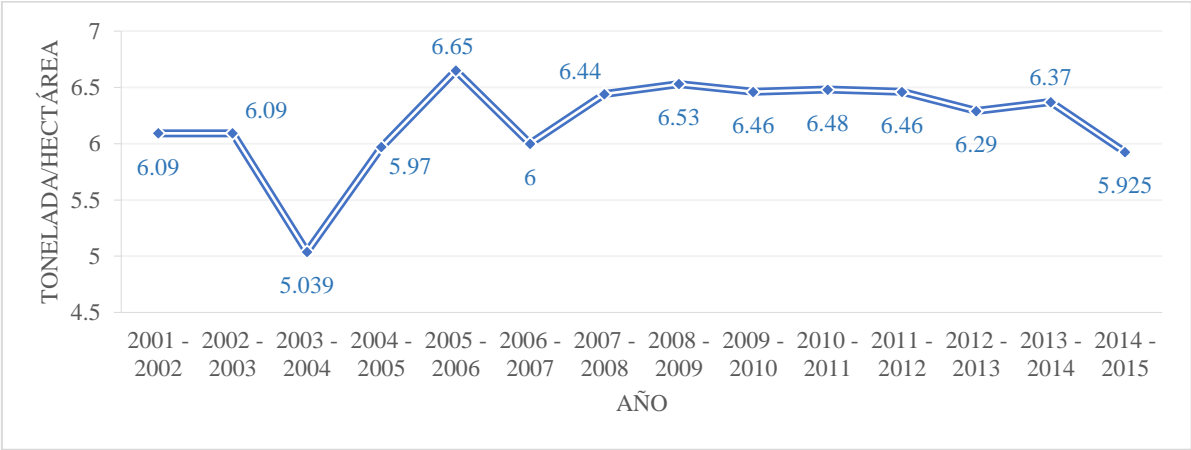


Fuente: CONAGUA, 2016.

La figura anterior (4) muestra la tendencia positiva constante que ha tenido el valor de la producción de trigo grano para el distrito expresado en miles de pesos. En ella se muestra cómo en el periodo de 2006 a 2009 hubo un despunte considerable de más de 1,000,000 de unidades, y para 2010 una caída del valor de la producción de más de 900,000 unidades. Cabe mencionar que antes y después de esa fluctuación, la tendencia ha sido constantemente positiva dejando un despunte y un valor final de 2,661,186 miles de pesos para el último periodo registrado de 2014 a 2015.

El rendimiento de la producción de trigo para el distrito 014 mostrado en la figura 5 antes de 2007 fue totalmente fluctuante en los primeros 8 años, mostrando un marcado descenso en el periodo 2003-2004 el cual pasó de un rendimiento de 6.093 a 5.039, siendo este el rendimiento más bajo para el distrito en los 15 años del ciclo histórico mencionado (2001-2015).

Figura 5. Serie histórica del rendimiento de la producción del trigo grano para el distrito de riego 014 de 2001 a 2015.



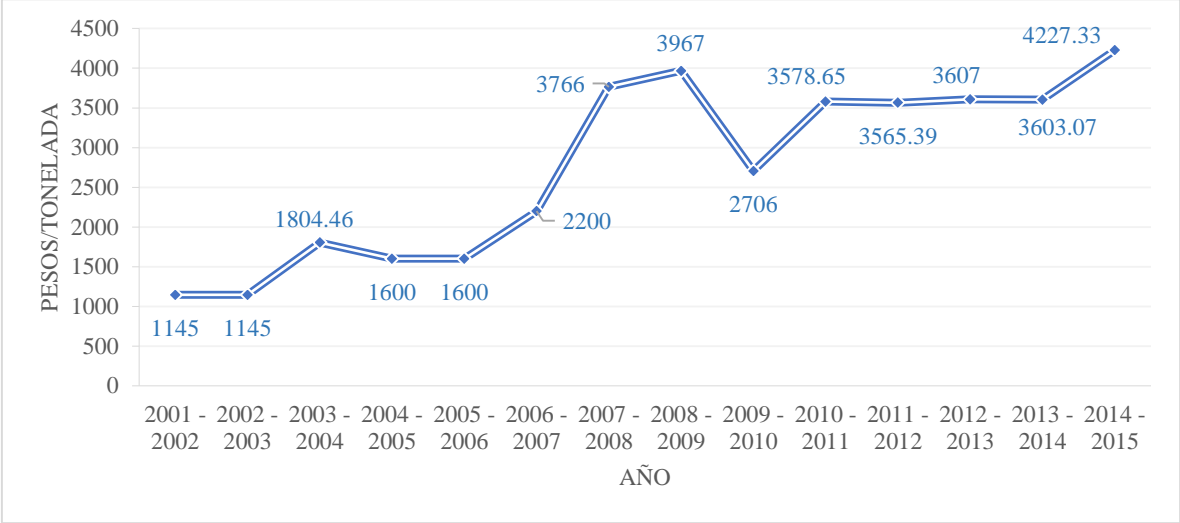
Fuente: CONAGUA, 2016.

Entre 2007 y 2014 el rendimiento tonelada/hectárea se mantuvo entre el rango de 6.53 y 6.29 unidades, por lo que puede denominarse estable; y ha sido hasta el periodo de 2014 a 2015 que el rendimiento decreció considerablemente hasta 5.92 unidades. A pesar de las variaciones registradas, el punto más bajo de rendimiento (5.039) y el más alto (6.65) solo se diferencian por 1.611 unidades.

El caso del comportamiento del Precio Medio Rural (PMR) para el distrito es muy parecido al valor de la producción, en donde la tendencia es positiva a lo largo de la serie, pero con unas marcadas fluctuaciones en el periodo de 2007 a 2010. Desde 2010 hasta 2014

la tendencia fue mantenida entre los 3,500 y 3,600 pesos por tonelada, y es para el último periodo (2014 a 2015) que hay un despunte positivo que llega a los 4,227 pesos por tonelada (ver figura 6).

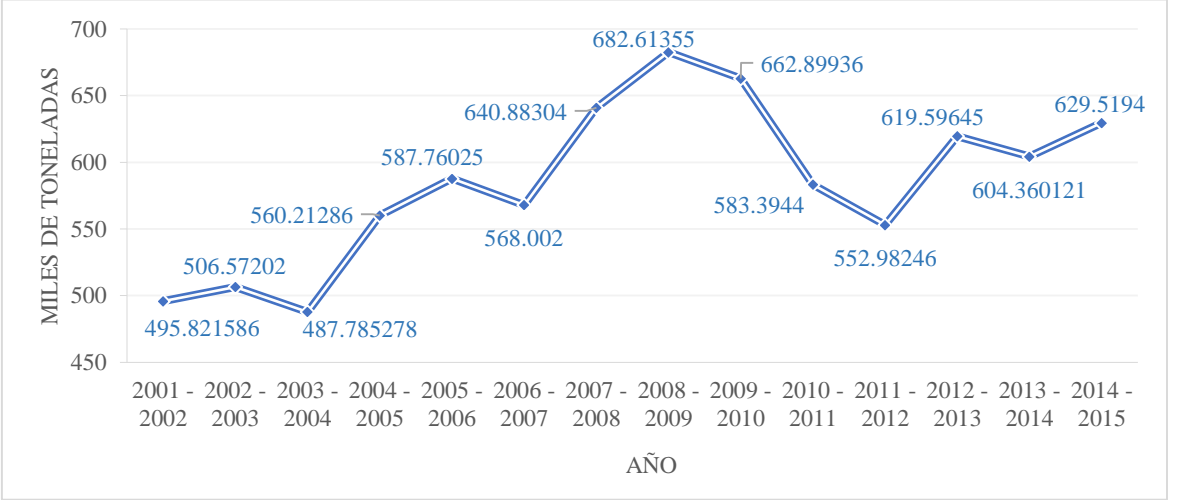
Figura 6. Serie histórica del precio medio rural del trigo grano para el distrito de riego 014 de 2001 a 2015.



Fuente: CONAGUA, 2016.

La producción expresada en toneladas del trigo grano para el distrito ha sido más accidentada (figura 7) pues los cambios que se muestran en el periodo van desde las 487 toneladas como dato mínimo hasta las 682 toneladas como dato máximo en el periodo 2008-2009, y como dato mínimo el periodo de 2003-2004. Varios decrementos registrados en 2003, 2006, 2008, 2009 y 2010 que evidencian la volatilidad de la producción del producto trigo en el distrito.

Figura 7. Serie histórica de la producción del trigo grano para el distrito de riego 014 de 2001 a 2015.



Fuente: CONAGUA, 2016.

En cuanto a estadística de los CADER, la tabla 4 muestra la superficie autorizada para la siembra de trigo en el valle de Mexicali para 2015, estos se muestran en orden de mayor a menor superficie autorizada, lo cual permite crear una comparación entre los diferentes CADER del valle de Mexicali y la magnitud en general de la gran extensión en donde se siembra este cultivo. Las siguientes tablas fueron elaboradas con datos proporcionados por SAGARPA (2017) con el debido tratamiento y orden para una mejor ilustración del lector.

Tabla 4. Superficie autorizada para siembra de trigo por CADER, ciclo otoño-invierno de 2015.

<i>CADER</i>	<i>Benito Juárez</i>	<i>Delta</i>	<i>Hechicera</i>	<i>Cerro Prieto</i>	<i>Guadalupe Victoria</i>	<i>Colonias Nuevas</i>
<i>Superficie autorizada</i>	24,266.86	19,152.61	16,185.01	15,951.36	11,916.98	4,249.98

Fuente: SAGARPA, 2017.

El CADER con mayor superficie autorizada para siembra de trigo en el ciclo otoño-invierno de 2015 fue el de Benito Juárez con más de 24 mil hectáreas, seguido por el CADER Delta con más de 19 mil, el CADER Hechicera con más de 16 mil, el CADER Cerro Prieto con poco menos de 16 mil, Guadalupe Victoria con poco menos de 12 mil hectáreas, y por último el CADER Colonias Nuevas con poco más de 4 mil hectáreas.

Tabla 5. Producción de trigo grano medio fuerte de CADER Río Colorado para el periodo otoño-invierno de 2013 por modalidad de riego.

<i>CADER</i>	<i>Sembrada</i>	<i>Cosechada</i>	<i>Producción</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>PMR</i>	<i>Valor</i>
<i>Benito Juárez</i>	760	760	5,648.32	7.432	3,639	20,554,236.48
<i>Cerro Prieto</i>	149	149	767.35	5.15	3,639	2,792,386.65
<i>G. Victoria</i>	20	20	156	7.8	3,639	567,684
<i>Colonias Nuevas</i>	15	15	67.5	4.5	3,639	245,632.50
<i>Delta</i>	120	120	784.8	6.54	3,639	2,855,887.20

Fuente: SAGARPA, 2016.

Como se aprecia en la tabla superior (tabla 5), el CADER Delta fue para 2013 el tercero en mayor extensión sembrada para trigo medio fuerte, pero el segundo en producción y valor de la producción. Únicamente el CADER Benito Juárez fue el más destacado en extensión, producción y valor de producción, con una diferencia de más de 18,000,000 unidades entre este centro y el resto. Esto seguramente debido a la extensión territorial que dicho centro cuenta para la siembra de cultivos; pues la diferencia entre este centro y los demás va por encima de las 600 hectáreas y la producción en toneladas lleva una diferencia de más de 4,500 unidades.

En el caso del trigo grano fuerte, las posiciones cambiaron en todas las dimensiones, y proporcionalidades, pues para esta clase de trigo el centro de apoyo al desarrollo rural (CADER) de Cerro Prieto de ubicó en la primera posición en extensión sembrada, en producción y en valor total expresado monetariamente. Lo anterior se muestra en la tabla 6 que presenta la superficie sembrada, cosechada, la producción, el rendimiento, el precio medio rural y el valor en unidades monetarias del trigo grano fuerte para el valle de Mexicali en 2013.

Tabla 6. Producción de trigo grano fuerte de CADER para el periodo otoño-invierno de 2013 por modalidad de riego.

<i>CADER</i>	<i>Sembrada</i>	<i>Cosechada</i>	<i>Producción</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>PMR</i>	<i>Valor</i>
<i>Hechicera</i>	320	320	2,064	6.45	3,639	7,510,896
<i>Benito Juárez</i>	3,031	3,031	18,692.18	6.167	3,639	68,020,843.02
<i>Cerro Prieto</i>	5,994	5,994	30,881.09	5.152	3,639	112,376,286.51
<i>G. Victoria</i>	1,610	1,610	9,821	6.1	3,639	35,738,619
<i>Colonias Nuevas</i>	2,210	2,210	12,479.87	5.647	3,639	45,414,246.93
<i>Delta</i>	1,218	1,218	7,186.20	5.9	3,639	26,150,581.80

Fuente: SAGARPA, 2016.

El CADER Delta fue el penúltimo lugar en cuanto a extensión de superficie sembrada y cosechada, posicionándolo en la misma posición en la producción, pero posicionándolo en tercer lugar de importancia ante el rendimiento, esto concluye en un valor de producción de 26,150,581.8 unidades monetarias que lo continúan situando en el penúltimo lugar entre todos los CADER para ese año.

La tabla 7 presenta la superficie sembrada, cosechada, la producción, el rendimiento, el precio medio rural y el valor en unidades monetarias para la modalidad de trigo grano cristalino para el valle de Mexicali en 2013. Esta producción sitúa al CADER Delta en penúltimo lugar en cuanto a la superficie sembrada y cosechada con 9,116 y 9,076 unidades respectivamente.

En esta clase de trigo las producciones entre CADER también presentan variaciones, pues van desde las 6,000 hectáreas hasta las 16,000, con valores de producción en toneladas desde los 35,000 hasta los 116,000 y un valor de producción expresado monetariamente desde las 128,000,000 unidades hasta las 418,000,000. Posicionando al CADER Benito Juárez en primera posición y a Colonias Nuevas en último lugar de producción en todos los ámbitos.

Tabla 7. Producción de trigo grano cristalino de CADER para el periodo otoño-invierno de 2013 por modalidad de riego.

<i>CADER</i>	<i>Sembrada</i>	<i>Cosechada</i>	<i>Producción</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>PMR</i>	<i>Valor</i>
<i>Hechicera</i>	14,149	14,120	88,391.20	6.26	3,607	318,827,058.40
<i>Benito Juárez</i>	16,445	16,425	116,157.60	7.072	3,607	418,980,463.20
<i>Cerro Prieto</i>	10,115	10,089	56,760.71	5.626	3,607	204,735,880.97
<i>G. Victoria</i>	11,316	11,316	73,259.78	6.474	3,607	264,248,026.46
<i>Colonias Nuevas</i>	6,559	6,542	35,653.90	5.45	3,607	128,603,617.30
<i>Delta</i>	9,116	9,076	55,408.98	6.105	3,607	199,860,190.86

Fuente: SAGARPA, 2016.

Este capítulo ilustró la problemática del agua en el área de estudio (CADER Delta), las condiciones generales para la siembra del trigo, aspectos como la comercialización, la historia del mismo, la división natural y legal del agua y la cuenca, los suministros y consumos del recurso. Se mostraron datos como la producción, el precio, de los diferentes tipos de trigo que se siembran en el valle de Mexicali y la comparación de los diferentes CADER que lo integran, esto con el objetivo de situar al lector en un contexto de antecedentes y de condiciones físicas, naturales, históricas y económicas del trigo en el valle de Mexicali y en el CADER Delta.

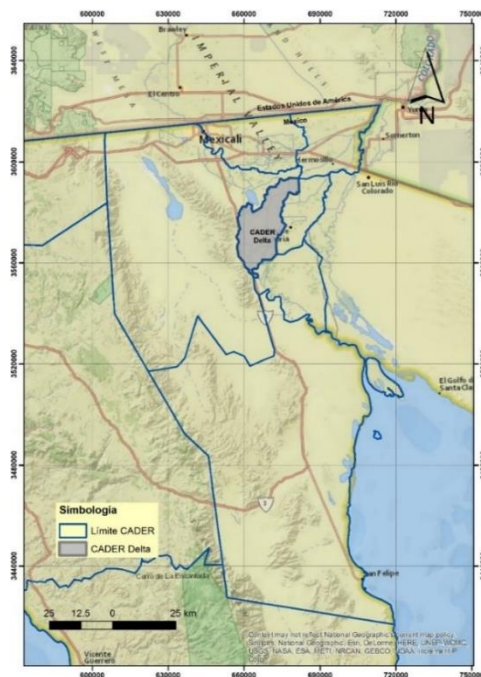
4.METODOLOGÍA

El siguiente capítulo contempla la metodología que se requiere para el análisis de la eficiencia en el uso del agua y para los tres escenarios de cambio climático para el área de estudio. Se describe detalladamente el área de estudio y el motivo de la elección de la misma, por lo que se incluyen algunos mapas y se presentan las variables que se utilizarán en lo que resta del documento para el logro de los objetivos específicos y generales.

4.1 Zona de estudio

La zona de estudio seleccionada es el Centro de Apoyo al Desarrollo Rural de la Secretaría (CADER) del Delta, el cual se sitúa al suroeste del valle de Mexicali con una ubicación de x en 1252185 y y en 2318332.16. Esta área de estudio cuenta con una superficie agrícola estimada de casi 47,000 hectáreas, y fue seleccionada debido a sus condiciones peculiares pues engloba una variedad edafológica que ejemplifica al resto del valle de Mexicali; a su vez, concentra diversidad de actividades productivas agropecuarias, diversidad de cultivos que se siembran a lo largo del valle de Mexicali y algunos de los principales líderes productores de la zona, como lo son en cebollín, rábano, o espárrago (SAGARPA, 2016).

Mapa 5. Límite de CADER



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2014.

El mapa 5 muestra la división de Centros de Apoyo al Desarrollo Rural del valle de Mexicali, y presenta con área sombrada la localización del CADER Delta, el cual es el área de estudio seleccionada.

Este CADER fue uno de los más afectados por el sismo de 2010, mayormente en su red de distribución y su canal principal de abasto (CONAGUA, 2016). Otro aspecto considerado en la selección del CADER Delta como área de estudio es debido a que fue el segundo lugar en superficie autorizada para siembra de trigo para el año 2015.

El CADER Delta es parte de los 6 CADER que conforman el valle de Mexicali y es el quinto en superficie con 46,943.9 hectáreas, con un cultivo predominante de trigo grano y alfalfa acicalada, con una producción predominante de carne bovino y trigo grano, y con una producción destacada de carne bovina y leche bovina en productos pecuarios (RAW, 2015) la tabla 8 muestra los cultivos predominantes y la superficie de cada CADER del valle de Mexicali para el año 2015. Cabe identificar que para todos los centros de apoyo rural el cultivo predominante es el trigo y la carne bovina, seguido por la alfalfa, la leche bovina o el algodón.

Tabla 8. Cultivos, producción y productos pecuarios predominantes en CADER del valle de Mexicali para el ciclo otoño-invierno de 2015.

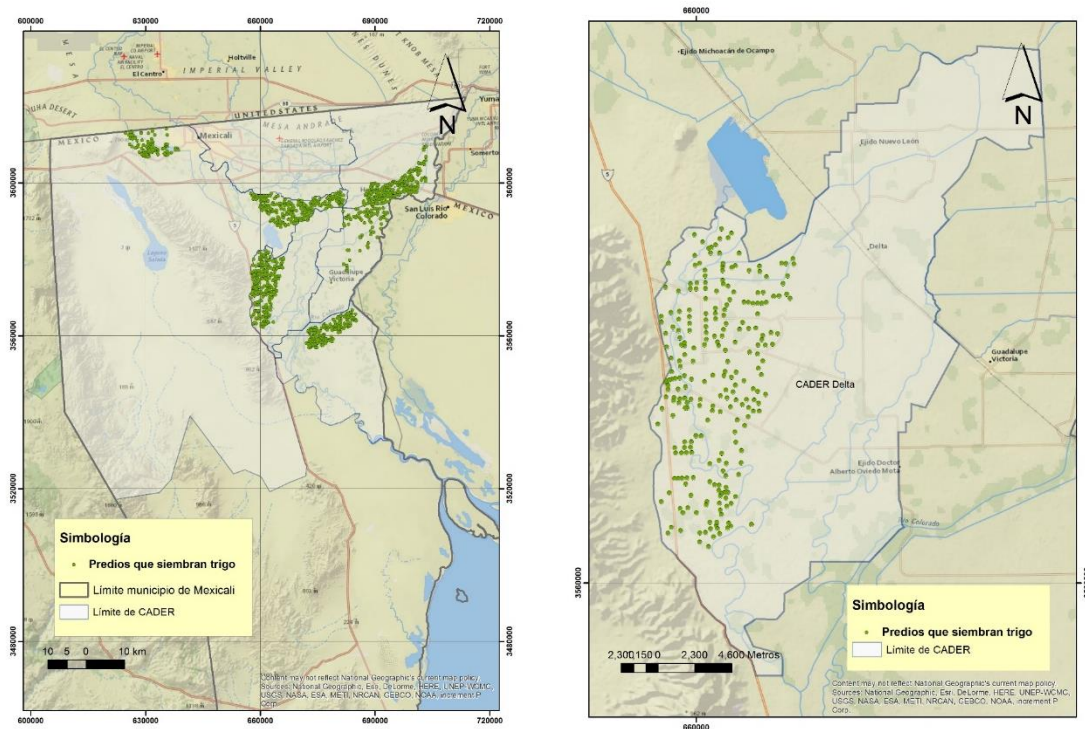
<i>CADER</i>	<i>Superficie Has.</i>	<i>Cultivo Predominante</i>	<i>Producción Predominante</i>	<i>Productos Pecuarios</i>
<i>Cerro Prieto</i>	493,964.6	Trigo grano Alfalfa achicalada	Trigo grano Bovino carne	Bovino carne Huevo plato
<i>Hechicera</i>	71,928.5	Trigo grano Algodón hueso	Trigo grano Bovino carne	Bovino carne Bovino leche
<i>Benito Juárez</i>	67,152.0	Trigo grano Algodón hueso	Trigo grano Bovino carne	Bovino leche Bovino carne
<i>Colonias Nuevas</i>	64,481.9	Trigo grano Alfalfa achicalada	Trigo grano Bovino leche	Bovino leche Bovino carne
<i>Delta</i>	46,943.9	Trigo grano Alfalfa achicalada	Trigo grano Bovino carne	Bovino carne Bovino leche
<i>Guadalupe Victoria</i>	37,548.8	Cebollín Trigo grano	Cebollín Bovino carne	Bovino carne Ovino carne

Fuente: RAW, 2015.

Para ilustrar mejor la tabla anterior, a continuación se muestran los mapas donde se pueden encontrar las parcelas que siembran trigo y en específico los predios que siembran trigo en el CADER Delta. Estos mapas (mapa 6) muestra la división de los CADER del valle de Mexicali y sitúa aquellas áreas en donde se siembra trigo. Esta base cartográfica y estadística utilizada es proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y SAGARPA; en esta se puede apreciar la predominante área en la que se siembra

trigo, tanto en el valle en general, como dentro del CADER Delta. A esta información se le ha dado tratamiento para efecto un mejor análisis del tema de estudio, y por medio del programa ArcMap se pudo georeferenciar cada una de las zonas en donde se registró el cultivo sembrado como trigo para 2015. El año seleccionado es debido a que en su momento, se registró como el año más actualizado con disponibilidad de estadística por parte de las instituciones que otorgaron la información, además de ser un año propiamente afectado por las nuevas políticas de reducción del suministro de agua.

Mapa 6. Parcelas que siembran trigo en CADER Delta y en todos los CADER del valle de Mexicali para el ciclo otoño-invierno de 2015.



Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA, 2015.

La cartografía de edafología e hidrología es proporcionada por INEGI, en tanto que la cartografía de límite de CADER ha sido proporcionada por SAGARPA. Estas cartografías han sido procesadas en el programa de Sistema de Información Geográfica ArcMap en el cuál se cruzó el área de estudio (CADER Delta) con el tipo de suelo, y las cuencas. Este programa permite crear las escalas adecuadas para el área de estudio que se necesita, además de poder añadir las variables que son necesarias en efecto.

4.2. Operacionalización de variables

A continuación se presenta la tabla de operacionalización de variables, en donde se muestran las dimensiones, indicadores y variables para tres conceptos principales. Esta tabla (tabla 9) es una herramienta para la identificación de elementos útiles para el estudio, y de los cuales se proponen algunos que son requeridos de acuerdo a la metodología de la cual se basa este documento y que a continuación se expone. Cabe mencionar que se realiza la operacionalización de variables de manera general pero no se utilizarán todas las variables existentes para este estudio, sino únicamente las que sean necesarias para el análisis de eficiencia del uso del agua en el trigo y los tres escenarios de cambio climático para el CADER Delta.

Tabla 9. Operacionalización de variables.

<i>Concepto</i>	<i>Dimensión</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Variables</i>
Eficiencia “La relación entre la producción agrícola y la aplicación de agua. Este término ha sido muy utilizado para describir el rendimiento generado (biomasa o económico) por unidad de agua aplicada.”	Productividad	Consumo de agua	m ³
		Producción	Kilogramos/ Toneladas
		Extensión	Hectáreas
		Rendimiento	Unidad
Cambio climático: “Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.”	Agua	Precipitación	mm
		Evapotranspiración	mm
			Pérdidas (m ³)

Indicadores y variables

Los indicadores y variables que se registraron de acuerdo a la operacionalización de variables del concepto de eficiencia en la dimensión de productividad y que se utilizan en el análisis fueron:

El consumo de agua, medido en m³; la producción, medida por toneladas, kilogramos, ingreso monetario o utilidad; la extensión del terreno, medida en hectáreas; y el rendimiento, el cual es medido en unidad.

Los indicadores y variables que se registraron de acuerdo a la operacionalización de variables al concepto de cambio climático en las diferentes dimensiones fueron los siguientes:

En la dimensión de agua los indicadores registrados fueron la precipitación y la evapotranspiración, medidas en milímetros.

De todos los indicadores, dimensiones y variables identificadas para los conceptos de eficiencia, seguridad hídrica y cambio climático, solo se utilizarán aquellos que estén disponibles por parte de INEGI, SAGARPA u otra institución para el área de estudio del CADER Delta del Valle de Mexicali, y aquellos que sean pertinentes para el análisis de eficiencia en el uso del agua ante el cambio climático.

4.3. Metodología base para la eficiencia del uso del agua

La metodología a utilizar en el análisis de eficiencia es retomada de los autores José Luis Ríos Flores, Miriam Torres Moreno, José Ruiz Torres, y Marco Antonio Torres Moreno, del documento *Eficiencia y productividad del agua de riego en trigo (*Triticum vulgare*) de Ensenada y Valle de Mexicali, Baja California, México* (2016). Las variables que se utilizan en la metodología tomada como base son la cantidad de agua indicada en m³, precio del m³ por productor, y la unidad de producto, ya sea física (kilogramos, toneladas), económica (peso, ingreso bruto) o social (empleos generados). Para efecto de este trabajo, las variables que se utilizarán son la cantidad de agua en m³ y la unidad de producto físico (toneladas o kilogramos) y económico (producción en pesos).

Para la creación de indicadores de eficiencia del uso del agua se retoman los modelos matemáticos de Ríos et al. (2015, citado por Ríos, et al. 2016: 23) en los que se estima la eficiencia y productividad del agua en términos físicos (Y_1 y Y_2), económicos (Y_3 - Y_7 , Y_{12} Y_{13}) y sociales (Y_8 Y_{11}). Para el caso de este estudio, solo se retoma la metodología para estimar la eficiencia del agua en términos físicos.

Así mismo, se plantea en el documento tomado como base una ecuación general para el número índice de eficiencia del uso del agua:

$$Eficiencia = \frac{Cantidad\ de\ agua}{Unidad\ de\ producto\ (f\u00edsico,\ econ\u00f3mico\ o\ social)}$$

De igual manera cabe mencionar que la ecuaci\u00f3n a utilizar en este documento es la misma, solo que se omiten algunas variables de los diferentes an\u00e1lisis de los autores que van m\u00e1s all\u00e1 de la eficiencia del agua.

En la metodolog\u00eda tomada como base se utiliza la unidad de eficiencia de conducci\u00f3n hidr\u00e1ulica de la red de canales expresado en porcentaje, esto debido a la p\u00e9rdida de agua desde donde comienza el suministro hasta el \u00e1rea que se riega, respecto a las dos \u00e1reas para su comparaci\u00f3n (Ensenada y Mexicali). Partiendo del supuesto de que esta unidad de eficiencia de conducci\u00f3n para el CADER Delta es la misma en el trigo y otros cultivos en la zona, se realiz\u00f3 una adaptaci\u00f3n de la ecuaci\u00f3n original debido a que esta contempla dos escenarios para comparar en distintos lugares. Por tanto, la unidad de eficiencia de conducci\u00f3n hidr\u00e1ulica de la red de canales de riego expresada como "EC" ha sido removida para el caso de este estudio debido a que este dato es homog\u00e9neo y no causar\u00eda diferencia entre cultivos de un mismo distrito de riego. Este dato que se sustrae no crea grandes modificaciones a la ecuaci\u00f3n original, \u00fanicamente se adapta al \u00e1rea de estudio.

Entonces la ecuaci\u00f3n final aplicada en este documento para la eficiencia del trigo del CADER Delta ser\u00eda la siguiente:

$$\frac{10,000\ m^2(1.08\ m)}{115,697\ ton}$$

Los 10,000 m² representan la extensi\u00f3n de una hect\u00e1rea, mientras que el 1.08 m representa la l\u00e1mina requerida de agua para el cultivo de trigo. Las 115,697 toneladas son la producci\u00f3n total obtenida de trigo para 2015 del CADER Delta. El resultado que expresa la ecuaci\u00f3n de acuerdo a lo referido a los autores es de 0.093347 m³/ton y explica la eficiencia de usar un m³ por tonelada, es decir, en el caso del trigo para este distrito de riego la eficiencia es de menos de 0.1 tonelada por m³, lo cual evidencia el limitado uso del agua ante la producci\u00f3n en toneladas espec\u00edficamente para este cultivo.

Con base en la ecuaci\u00f3n original, se realiz\u00f3 una aportaci\u00f3n para mejorar la formula debido a que al aplicar la formula se toma el resultado como m³ utilizado por tonelada en el cultivo, sin embargo la ecuaci\u00f3n como tal no expresa el resultado por tonelada por hect\u00e1rea.

Para realizar una ecuación que sea efectivamente por tonelada como expresan los autores, se calculó el número de toneladas por extensión sembrada, es decir, se realizó una división de las toneladas obtenidas entre la superficie sembrada, para obtener las toneladas por 10, 000 m². Es decir, que esa será la cifra que se utilice en la ecuación principal. La ecuación quedaría de la siguiente manera para el trigo, misma que se aplica a los demás cultivos para hacer la respectiva comparación:

$$Eficiencia = \frac{Cantidad\ de\ agua}{Unidad\ de\ producto\ (f\u00edsico,\ econ\u00f3mico\ o\ social)\ por\ hect\u00e1rea}$$

Con n\u00fameros reales aplicado para el cultivo trigo se traduce en:

$$\frac{10,000\ m^2(1.08\ m)}{5.89\ ton\ por\ ha.}$$

O realizando el volumen por superficie cosechada entre las toneladas totales obtenidas:

$$\frac{(10,000\ m^2(1.08\ m))19615}{115697\ ton}$$

De esta manera, se hace efectiva la explicaci\u00f3n que los autores (R\u00edos, et al., 2016) expusieron en la metodolog\u00eda tomada de base, en donde buscan la eficiencia mediante la relaci\u00f3n de m³/tonelada, y que con la modificaci\u00f3n a la formula se lleva a cabo. De no realizarse la modificaci\u00f3n, los resultados expresan (tal como en la tabla 21 se observa) los m³ entre la cantidad total de toneladas totales producidas (o kg), mas no por tonelada (o kg) por hect\u00e1rea. Entonces los datos de tonelada que dividen el volumen de agua (que es por hect\u00e1rea) no son efectivamente por hect\u00e1rea sino por la cantidad total de toneladas producidas en el periodo, lo que altera los resultados al momento de compararlos con los diferentes cultivos del CADER.

Es decir, para tener un an\u00e1lisis efectivamente de m³/tonelada (ambas cifras en relaci\u00f3n a una hect\u00e1rea), se requiere dividir las toneladas totales entre la superficie cosechada total para cada cultivo y dejar intacto el volumen h\u00eddrico de la formula, o multiplicar el volumen de agua por hect\u00e1reas cosechadas y dejar intacto el producto total obtenido en toneladas de la cosecha.

Esta metodología se lleva a cabo para el trigo y para los principales cultivos registrados en el periodo en el CADER, por lo que se realiza el contraste de la eficiencia entre los cultivos como parámetro de comparación. La fórmula se aplica al trigo en primera instancia pero se ha decidido ampliar a los cultivos que para el periodo se sembraron como forma de realizar un estudio más completo y permitir una gama de opciones en cuanto a la eficiencia.

Para la modelación de los escenarios la metodología es sencilla pues contempla los volúmenes totales y se hace la proyección con la disminución porcentual estimada. En la modelación se encuentra la distribución de cada cultivo sembrado para el CADER delta, la cual se multiplica por la lámina bruta promedio utilizada y por los 10,000 m² (una hectárea). Se suman los resultados totales y se hace la estimación de consumo de volumen hídrico total para el Delta del valle de Mexicali, que se contempla como una salida o un gasto de suministro hídrico registrado para el año.

Las variables que se contemplan en esta metodología son las siguientes:

- Lamina de riego promedio.
- Volumen hídrico por hectárea.
- Superficie sembrada.
- Volumen hídrico total por cultivo.

Los porcentajes de reducción se han tomado con base en el Programa Hídrico del Estado de Baja California 2035 (CEA, 2016) el cual expone los porcentajes de disminución del 7%, 14% y 23%, en los casos de suministro superficial, subterráneo o total. Aunado, se toma como base los lineamientos que el Estado de California (Estados Unidos) registra con proyecciones de hasta 20% en reducciones (Gleick, Cooley y Groves, 2005). En el caso del escenario severo, se tomó a criterio la disminución del 30%, tomando como base criterios internacionales como China.

4.4.Fuentes de información y programas utilizados

En el caso de este estudio, no se realiza labor de campo ni se aplican cuestionarios en la zona, debido a que los datos requeridos para realizar la metodología correspondiente al área de estudio son proporcionados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural,

Pesca y Alimentación (SAGARPA), y serán procesados y analizados con programas especializados como Excel, Mapinfo y ArcMap. Estos programas sirven para realizar análisis más claros y gráficos de la estadística que se proporciona por parte de las instituciones mediante el cruce de diferentes elementos como suelo, clima, cuencas o acuíferos con el área de estudio.

La base cartográfica y la estadística que se utilizan es proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y SAGARPA, y a ello se le da tratamiento y análisis de acuerdo a los requerimientos de la metodología base. Específicamente, la cartografía de edafología e hidrología es proporcionada por INEGI (2014), y la cartografía de los distritos de riego y CADER por SAGARPA.

Este capítulo integró la metodología utilizada para los escenarios de cambio climático y la eficiencia en el uso del agua, mostrando la operacionalización de variables y la ecuación base con la adecuación y/o aportación para el efectivo análisis. También se incluyó la descripción de las fuentes de información y los programas utilizados para la realización del documento.

5. EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN EL TRIGO EN CADER DELTA

En este capítulo se aplica la metodología de la eficiencia en el uso del agua y se realiza el análisis correspondiente, se contemplan tres escenarios de cambio climático para el valle de Mexicali y específicamente para el CADER Delta, por lo que se presentan los resultados obtenidos de acuerdo a los objetivos específicos y generales propuestos al principio del documento. Se aplica la fórmula de la eficiencia para el trigo y otros cultivos complementarios y se presenta un listado de cultivos propuesta para una reconversión.

5.1 Eficiencia en el CADER Delta del valle de Mexicali para el ciclo otoño-invierno de 2015

La siguiente información estadística presenta los cultivos sembrados y cosechados en el periodo de estudio otoño-invierno del año 2015, resaltando en las tablas los diferentes tipos de trigo y realizando la sumatoria. Los tres tipos de trigo se engloban en una sola cifra para realizar la comparación con los demás cultivos sembrados y cosechados en la zona, además del porcentaje de participación de cada uno de ellos en el total. Las tablas que a continuación se presentan son resultado de un tratamiento y orden de los datos que instituciones como SAGARPA o CONAGUA, entre otros han proporcionado. La mayoría de las tablas muestran una sumatoria total, algunas presentan porcentajes de participación de los cultivos al total de la superficie sembrada y cosechada, además del caso específico de la sumatoria del trigo con su participación porcentual. Otras tablas muestran los datos en las unidades originales y en otras ocasiones se muestran solo el resultado del análisis de la fórmula, tal es el caso de la eficiencia con un resultado en unidades de m³/tonelada.

Tabla 10. Superficie sembrada, cosechada y porcentajes de participación en CADER Delta para cultivos otoño-invierno 2015.

<i>Cultivos</i>	<i>Superficie sembrada (ha)</i>			<i>Superficie cosechada (ha)</i>			
	<i>Riego General</i>	<i>%</i>	<i>Suma Trigo %</i>	<i>Cultivos</i>	<i>Riego General</i>	<i>%</i>	<i>Suma Trigo %</i>
<i>Ajo</i>	60	0.29		<i>Ajo</i>	60	0.29	
<i>Avena</i>	219.5	1.06		<i>Avena</i>	219.5	1.07	
<i>Brócoli</i>	7.5	0.04		<i>Brócoli</i>	7.5	0.04	
<i>Cártamo</i>	375	1.81		<i>Cártamo</i>	368	1.80	
<i>Cebolla</i>	20	0.10		<i>Cebolla</i>	20	0.10	
<i>Cebollín</i>	121	0.58		<i>Cebollín</i>	121	0.59	

<i>Chile</i>	7	0.03		<i>Chile</i>	7	0.03	
<i>Cilantro</i>	20	0.10		<i>Cilantro</i>	20	0.10	
<i>Col De Bruselas</i>	17	0.08		<i>Col De Bruselas</i>	17	0.08	
<i>Lechuga</i>	19	0.09		<i>Lechuga</i>	19	0.09	
<i>Remolacha</i>	33	0.16		*	*	*	
<i>Repollo</i>	3.5	0.02		<i>Repollo</i>	3.5	0.02	
<i>Rye-Grass</i>	156	0.75		<i>Rye-Grass</i>	156	0.76	
<i>Trigo Grano Cristalino</i>	17263	83.41		<i>Trigo Grano Cristalino</i>	17246	84.42	
<i>Trigo Grano Medio Fuerte</i>	212	1.02	94.78	<i>Trigo Grano Medio Fuerte</i>	212	1.04	95.93
<i>Trigo Grano Fuerte</i>	2140	10.34		<i>Trigo Grano Fuerte</i>	2140	10.48	
<i>Zanahoria</i>	22.5	0.11		<i>Zanahoria</i>	22.5	0.11	
<i>Suma</i>	20696	100		<i>Suma</i>	20428.5	100	

Fuente: SAGARPA, 2017.

*Información no existente.

La tabla 10 muestra la superficie sembrada y cosechada para el ciclo 2015 en el CADER Delta. En esta se enuncian los 17 cultivos sembrados y cosechados con su respectivo porcentaje de participación en el CADER. Para efecto de este análisis, se realizó la sumatoria de las tres variedades de trigo, la cual es entre el 94% y 95% de la superficie registrada para el periodo. Los cultivos que le siguen en importancia son el rye-grass, el cártamo, la avena, el cebollín, el ajo, la zanahoria, la cebolla y el cilantro. Cabe mencionar que los demás cultivos del CADER representaron menos del 0.10% de la superficie sembrada/cosechada (repollo, lechuga, col de Bruselas, chile y brócoli).

El caso particular de la remolacha fue un cultivo que se registró como superficie siniestrada, es decir que registra una pérdida total por enfermedades, fenómenos climáticos o plagas, por lo que el dato aparece en la superficie sembrada y no en la superficie cosechada.

Tabla 11. Producción obtenida en CADER Delta para cultivos otoño-invierno 2015.

<i>Cultivo</i>	<i>Producción obtenida (tonelada o unidad de medida especificada)</i>			<i>Precio medio rural (pesos/ton o unidad especificada)</i>		
	<i>Riego General</i>	<i>%</i>	<i>Suma Trigo%</i>	<i>Cultivo</i>	<i>Precio</i>	<i>Producción por Precio</i>
<i>Cebollín</i>	1573	1.20		<i>Cebollín</i>	14488	22789624
<i>Repollo</i>	175	0.13		<i>Repollo</i>	3200	560000
<i>Brócoli</i>	210	0.16		<i>Brócoli</i>	7142	1499820
<i>Zanahoria</i>	405	0.31		<i>Zanahoria</i>	2200	891000
<i>Lechuga</i>	836	0.64		<i>Lechuga</i>	6818	5699848
<i>Cilantro</i>	130	0.10		<i>Cilantro</i>	10555	1372150

<i>Col De Bruselas</i>	246.5	0.19		<i>Col De Bruselas</i>	25200	6211800
<i>Avena</i>	2025.75	1.55		<i>Avena</i>	1800	3646350
<i>Trigo Grano Cristalino</i>	100976	77.05				
<i>Trigo Grano Medio Fuerte</i>	1225	0.93	88.28	Trigo	3750	378660000
<i>Trigo Grano Fuerte</i>	13496	10.30				
<i>Cebolla</i>	1020	0.78		<i>Cebolla</i>	7000	7140000
<i>Ajo</i>	600	0.46		<i>Ajo</i>	12000	7200000
<i>Cártamo</i>	1063.52	0.81				
<i>Rye-Grass</i>	7020	5.36		<i>Rye-Grass</i>	500	3510000
<i>Chile</i>	47.74	0.04		<i>Chile</i>	7000	334180
Suma	131049.51	100		Suma		439514772

Fuente: SAGARPA, 2017.

La tabla anterior (tabla 11) presenta la producción obtenida en el CADER Delta para los cultivos de otoño-invierno de 2015. En esta tabla se tomaron la producción obtenida y el precio medio rural (PMR) y se multiplicaron para obtener una unidad neta de ingreso por cultivo, el cual depende de la superficie obtenida, el precio en el mercado y el rendimiento en la obtención de toneladas. Las toneladas producidas también se presentan de manera bruta y como participación porcentual del total del CADER. En este caso, producción obtenida para trigo en sus tres modalidades sumó el 88.28%, seguido por el cultivo rye grass, la avena, el cebollín, el cártamo, la cebolla y la lechuga. El resto de los cultivos represento menos del 0.60% de la producción obtenida. La otra parte de la tabla muestra el precio medio rural de cada uno de los cultivos expuestos para ese año multiplicado por la producción obtenida, lo que hace que los porcentajes cambien en relación a la ganancia obtenida, que como en el capítulo de los conceptos y teorías se plasmó, la productividad también está ligada a la eficiencia, y la ganancia económica está igualmente relacionada con la sustentabilidad. La participación del resultado económico deja al trigo con el 87.69% de la ganancia, seguido por la cebolla con un 4.61%, al ajo con 1.46%, a la cebolla con 1.44%, al col de Bruselas con 1.26% y a la lechuga con el 1.15%, el resto de los cultivos representan menos del 0.8%.

En cuanto a las pérdidas registradas en el periodo, la superficie siniestrada para 2015 en el CADER Delta sumó 176 hectáreas, de las cuales el 54% fueron de trigo, el 21% de remolacha y el 23% de cártamo (tabla 12).

Tabla 12. Superficie siniestrada en CADER Delta para ciclo otoño-invierno de 2015.

<i>Superficie siniestrada (ha)</i>		
<i>Cultivos</i>	Riego General	%
<i>Remolacha</i>	38	21.59
<i>Trigo Grano Cristalino</i>	96	54.55
<i>Cártamo</i>	42	23.86
<i>Suma</i>	176	100

Fuente: SAGARPA, 2017.

A continuación se muestra un comparativo de la ecuación de eficiencia con los diferentes cultivos que se produjeron en el CADER Delta para el ciclo otoño-invierno de 2015 de acuerdo a la ecuación que se retomó de Ríos et al. (2016):

Tabla 13. Concentrado de uso de lámina de agua, producción en toneladas, pesos y m³/tonelada.

<i>Cultivo</i>	<i>Lámina bruta</i>	<i>Producción tonelada</i>	<i>Producción pesos</i>	<i>M³/tonelada</i>
<i>Ajo</i>	1	600	7200000	16.667
<i>Avena</i>	1.3	2025.75	3646350	6.417
<i>Brócoli</i>	1.2	210	1499820	57.143
<i>Cártamo</i>	0.91	1063.52	*	8.556
<i>Cebolla</i>	0.8	1020	7140000	7.843
<i>Cebollín</i>	0.94	1573	22789624	5.976
<i>Chile</i>	1.2	47.74	334180	251.362
<i>Cilantro</i>	1.4	130	1372150	107.692
<i>Col de Bruselas</i>	1.2	246.5	6211800	48.682
<i>Lechuga</i>	0.8	836	5699848	9.569
<i>Remolacha</i>	*	0	*	*
<i>Repollo</i>	1	175	560000	57.143
<i>Rye-grass</i>	0.89	7020	3510000	1.268
<i>Trigo grano cristalino</i>	1.08	115697	433660573	0.093
<i>Zanahoria</i>	1.7	405	891000	41.975

Fuente: Elaboración propia con base en: CONAGUA, 2017, Ruiz, et. al, 2016, SAGARPA, 2017.

* Información no existente.

La tabla 13 muestra los 15 cultivos que se sembraron durante el periodo otoño-invierno de 2015 para el CADER Delta, en ella se presenta el promedio de lámina bruta para cada uno de los cultivos, las toneladas producidas, la producción en términos monetarios expresada en pesos y la fórmula de eficiencia aplicada a cada uno de los cultivos de acuerdo a la metodología tomada como base de Ruiz, et al. (2016). Con los resultados obtenidos se realiza la observación a la metodología de los autores en relación a la discrepancia de las

unidades de medición de las que los autores expresan los resultados, en el entendido de que se busca la eficiencia mediante el uso de un m³ que equivale al volumen de agua utilizado por cultivo por hectárea, y la unidad de producto en términos físicos, económicos o sociales.

La tabla 14 muestra los nuevos resultados obtenidos para el trigo y los demás cultivos del CADER que ilustran la eficiencia de un m³ por tonelada producida (por hectárea) para los 15 cultivos registrados en el CADER en el ciclo otoño-invierno de 2015 con la modificación a la fórmula aplicada. En esta tabla se dividieron las toneladas entre la superficie sembrada para cada cultivo, lo cual dio un resultado de tonelada obtenida por hectárea. Aunado, se presenta el dato de metros cúbicos por tonelada (por hectárea), dato principal para la eficiencia del uso del agua en los cultivos. Al tener los datos de tonelada por hectárea y metro cúbico por tonelada da una relación entre la eficiencia y producción que acota la selección de cultivos aconsejables para el medio ambiente y el interés del productor.

Tabla 14. Concentrado de producción en tonelada, superficie sembrada y tonelada/superficie sembrada para CADER Delta en el ciclo otoño-invierno de 2015.

Cultivo	Tonelada	Sup semb	Ton/sup semb	m ³ /ton por ha.
Ajo	600	60	10	1000
Avena	2025.75	219.5	9.22892938	1408.61
Brócoli	210	7.5	28	428.57
Cártamo	1063.52	375	2.83605333	3208.68
Cebolla	1020	20	51	156.86
Cebollín	1573	121	13	723.08
Chile	47.74	7	6.82	1759.53
Cilantro	130	20	6.5	2153.85
Col de Bruselas	246.5	17	14.5	827.59
Lechuga	836	19	44	181.82
Remolacha	*	33	*	*
Repollo	175	3.5	50	200
Rye-grass	7020	156	45	197.78
Trigo grano cristalino	115697	19615	5.89839409	1831.01
Zanahoria	405	22.5	18	944.44

Fuente: Elaboración propia con base en: CONAGUA, 2017, Ruiz, et. al, 2016, SAGARPA, 2017.

* Información no existente.

Explicando la tabla de manera específica, los resultados son los siguientes:

Enunciando de mayor a menor consumo de agua por cultivo se determina que el cártamo necesita de 3208.68 m³ por tonelada producida, el cilantro ocupa de 2153.85 m³ por tonelada, el trigo requiere de 1831.01 para producir una tonelada, el chile requiere de 1759.53 m³, la avena utiliza 1408.61 m³ para la producción de una tonelada en el CADER Delta, el ajo requiere de 1000 m³ por tonelada producida, la zanahoria utiliza 944.44 m³ por tonelada, la col de Bruselas requiere de 827.59 m³, el cebollín utiliza 723.08 m³, el brócoli necesita de 428.57 m³, el repollo utiliza 200 unidades de m³ por tonelada, el rye grass consume 197.78 m³ por tonelada, la lechuga necesita 181.82 m³, y por último, la cebolla requiere 156.86 m³ por tonelada (ver tabla 14).

Además se realizó la división de las toneladas obtenidas entre la superficie sembrada, lo que da por resultado las toneladas obtenidas por hectárea. De mayor a menos producción en toneladas por cultivo, los resultados son los siguientes: la cebolla registró 51 toneladas por cada hectárea sembrada, el repollo produjo 50 toneladas por hectárea, el rye grass registró 45, la lechuga registró 44, del brócoli se obtuvieron 28 toneladas, la zanahoria produjo 18 toneladas por hectárea, la col de Bruselas rindió 14.5 toneladas, el cebollín registró 13 toneladas, el ajo produjo 10 toneladas por hectárea sembrada, la avena registró 9.22 toneladas, el chile 6.82, el cilantro 6.5, el trigo grano cristalino 5.8, y por último, el cártamo registro 2.8 toneladas por hectárea (ver tabla 14).

Para realizar un estudio más completo que contemple no solo la parte hídrica que se refiere al ámbito ambiental, sino que también contemple la parte económica con los datos disponibles por parte de SAGARPA (2017) en cuanto a la producción en pesos, a continuación se realiza un análisis de ingreso por hectárea por cultivo. Es decir, si al análisis se le añade el precio medio rural que multiplica la cantidad de producción y se divide entre el número de hectáreas cosechadas para cada cultivo, se puede determinar el ingreso por hectárea para cada uno de los cultivos que en el CADER Delta se registraron en el periodo. De mayor a menor ingreso registrado por hectárea por cultivo el resultado es el siguiente (tabla 15):

Con 365,400 pesos por hectárea se sitúa en primer lugar la col de Bruselas, con 357,000 pesos esta en segundo lugar la cebolla, en tercer lugar destaca la lechuga con 299,992

pesos por hectárea, seguido por el brócoli con 199,976 pesos, el cebollín con 188,344 pesos por hectárea cosechada, el repollo con 160,000 pesos, y el ajo con 120,000 pesos por hectárea. En menor proporción se registran el cilantro, el chile, la zanahoria, el rye grass, el trigo, la avena y el cártamo que van de los 68,000 hasta los 15,000 pesos por hectárea.

Tabla 15. Ingreso por hectárea por cultivo del CADER Delta para el periodo otoño-invierno de 2015.

<i>Cultivo</i>	<i>superficie cosechada</i>	<i>producción ton</i>	<i>PMR</i>	<i>producción ton x PMR</i>	<i>% de ingreso</i>	<i>ingreso por ha</i>
<i>Ajo</i>	60	600	12000	7200000	1.44	120000
<i>Avena</i>	219.5	2025.75	1800	3646350	0.73	16612.07
<i>Brócoli</i>	7.5	210	7142	1499820	0.30	199976
<i>Cártamo</i>	368	1063.52	5334	5672816	1.13	15415.26
<i>Cebolla</i>	20	1020	7000	7140000	1.43	357000
<i>Cebollín</i>	121	1573	14488	22789624	4.56	188344
<i>Chile</i>	7	47.74	7000	334180	0.07	47740
<i>Cilantro</i>	20	130	10555	1372150	0.27	68607.5
<i>Col de Bruselas</i>	17	246.5	25200	6211800	1.24	365400
<i>Lechuga</i>	19	836	6818	5699848	1.14	299992
<i>Remolacha</i>	*	*	*	*	0.00	*
<i>Repollo</i>	3.5	175	3200	560000	0.11	160000
<i>Rye-grass</i>	156	7020	500	3510000	0.70	22500
<i>Trigo grano cristalino</i>	19598	115697	3750	433660573	86.70	22127.80
<i>Zanahoria</i>	22.5	405	2200	891000	0.18	39600

Fuente: elaboración propia con base en SAGARPA, 2017.

* No se encontró información del cultivo.

Al cruzar la información de consumo de agua por tonelada con el ingreso por hectárea, se puede apreciar qué cultivos proveen de mayor ingreso económico y utilizan un menor consumo del recurso hídrico, por tanto se pueden hacer propuestas que vayan encaminadas tanto en cuidado del ambiente, como en el ingreso del productor. La selección del número de cultivos se hizo con base en los menores consumos de volúmenes de agua como primer plano de selección, y en segundo plano se relacionó el ingreso por hectárea registrado para dar un total de 6 cultivos principales u óptimos como recomendables ante estos dos ámbitos primordiales que son el medio ambiente y el ingreso económico (ver tabla 16).

Se hace la aclaración de que los ingresos por hectárea no consideran los consumos de insumos que requiere cada cultivo, ni restan ningún tipo de gasto monetario necesario para la siembra o cosecha de los mismos. Por lo que el análisis se centra sencillamente en los

ingresos brutos generados por hectárea y los volúmenes generados con la ecuación de eficiencia.

Tabla 16. Ingreso por hectárea y volumen de agua en m³ por tonelada por hectárea para cada cultivo del CADER Delta en el periodo otoño-invierno de 2015.

<i>Cultivo</i>	<i>ingreso por ha</i>	<i>m³/ton por ha.</i>
<i>Ajo</i>	120000	1000
<i>Avena</i>	16612.07	1408.61
<i>Brócoli</i>	199976	428.57
<i>Cártamo</i>	15415.26	3208.68
<i>Cebolla</i>	357000	156.86
<i>Cebollín</i>	188344	723.08
<i>Chile</i>	47740	1759.53
<i>Cilantro</i>	68607.5	2153.85
<i>Col de Bruselas</i>	365400	827.59
<i>Lechuga</i>	299992	181.82
<i>Remolacha</i>	*	*
<i>Repollo</i>	160000	200
<i>Rye-grass</i>	22500	197.78
<i>Trigo grano cristalino</i>	22127.80	1831.01
<i>Zanahoria</i>	39600	944.44

Fuente: elaboración propia con base en SAGARPA, 2017. Ruiz, et al., 2016

* No se encontró información del cultivo.

La tabla 16 muestra un concentrado de los cultivos en su ingreso por hectárea y el consumo cubico de agua por tonelada igualmente por hectárea. Resaltados se presentan los cultivos destacados en ambas categorías (económica e hídrica). Los cultivos seleccionados en la tabla 15 son el brócoli con un consumo de 428 m³/ tonelada y 199,976 pesos por hectárea, la cebolla con 156 m³/ tonelada y 357,000 pesos, el cebollín con 723 m³/ tonelada y 188,344 pesos por hectárea, la col de Bruselas con 827 m³/ tonelada y 365,400 pesos, la lechuga con 181 m³/ tonelada y 299,992 pesos, y el repollo con 200 m³/ tonelada y 160,000 pesos por hectárea de ingreso bruto. Otros cultivos como el rye grass, la zanahoria o el ajo tuvieron un consumo de 1,000 o menos m³/ tonelada, pero registraron ingresos de menos de 160,000 pesos por hectárea; y casos como la avena, el cártamo, el chile, el cilantro y el trigo, registraron ingresos por debajo de los 70,000 y altas cantidades de consumo de agua por

tonelada, por lo que estos cultivos no fueron los observados como óptimos para una selección de reconversión.

Es importante recalcar que la producción y consumo de agua y toneladas de este análisis están suscritas a las condiciones del CADER Delta, y si bien es un ejemplo de todo el valle de Mexicali, los rendimientos o consumos de agua pueden variar dependiendo de los registros de cada CADER.

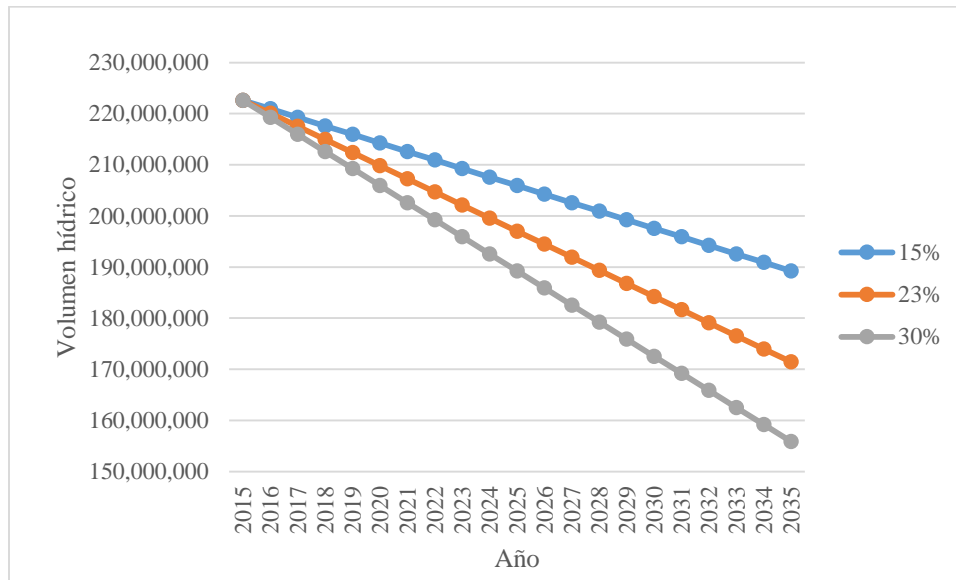
5.2. Escenarios del suministro de agua ante cambio climático

Como objetivo de este estudio también se ha propuesto mostrar el consumo de agua para el trigo ante tres escenarios de cambio climático y en general el consumo de agua para el CADER. De acuerdo a los datos obtenidos del consumo de agua para el año 2015 ciclo otoño-invierno para el cultivo trigo en el CADER Delta y en el valle de Mexicali en general.

En esta modelación se encuentra la distribución de cada cultivo sembrado para el CADER delta, la cual se multiplica por la lámina bruta promedio utilizada y por los 10,000 m² (una hectárea). Se suman los resultados totales y se hace la estimación de consumo de volumen hídrico total para el Delta del valle de Mexicali, que se contempla como una salida o un gasto de suministro hídrico registrado para el año 2015. En el caso de los escenarios particulares para trigo, se realiza el mismo procedimiento, pero únicamente la sumatoria de la lámina bruta promedio del trigo por los 10,000 m² (una hectárea) por el número de hectáreas totales.

El periodo total del análisis va de 2015 a 2035 con las reducciones del 15%, 23% y 30% como tres escenarios: uno moderado, uno fuerte y otro severo, manteniendo los consumos que se registraron en 2015. El volumen inicial es el registrado de acuerdo al volumen total del CADER Delta en 2015, por lo que esa cifra es el dato inicial del que parten las reducciones, y es el mismo que se utilizó para determinar el volumen total en la fórmula de la eficiencia. A continuación se presenta la figura 8 y la tabla 25 muestran los resultados obtenidos.

Figura 8. Tres escenarios de reducción del 15%, 23% y 30% para el CADER Delta con base en volúmenes estimados para el ciclo otoño-invierno de 2015.



Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA, 2017; CONAGUA, 2017.

La figura anterior (8) muestra gráficamente las diferencias de volúmenes entre los tres escenarios en donde el menor volumen registrado en 2035 con un escenario severo de reducción es de 155,834, 910 m³, el volumen fuerte de reducción llega a los 171,418,401 m³, y el volumen moderado registra para el año 2035 un volumen de 189,228,105 m³. En la siguiente tabla se registran los volúmenes de reducción en cada uno de los casos para el consumo total del CADER Delta.

Tabla 17. Tres escenarios de reducción del 15%, 23% y 30% para el CADER Delta con base en volúmenes estimados para el ciclo otoño-invierno de 2015.

Concepto	Volumen hídrico disponible m ³	Volumen de reducción m ³
Volumen hídrico 2015	222,621,300	0
Reducción del 15%	189,228,105	33,393,195
Reducción del 23%	171,418,401	51,202,899
Reducción del 30%	155,834,910	66,786,390

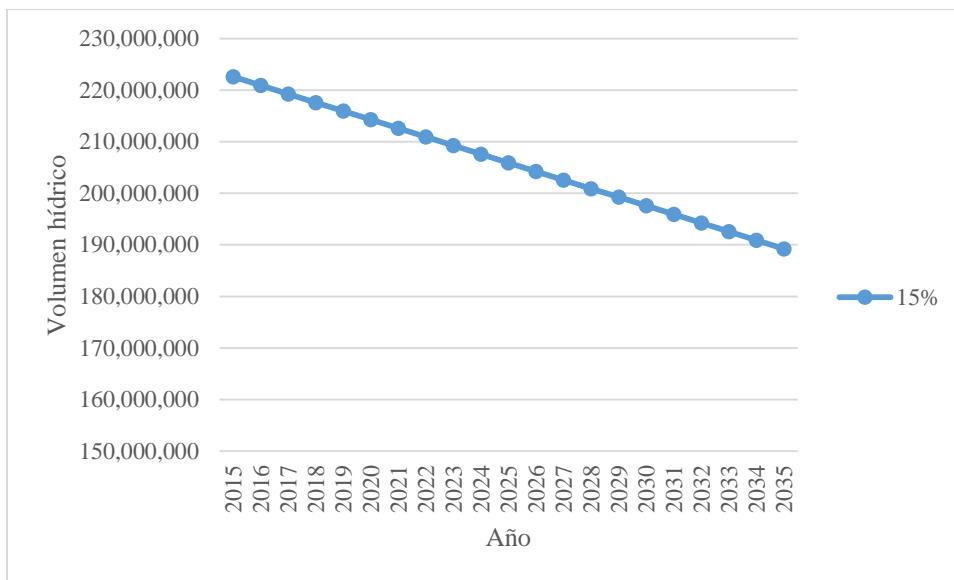
Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA, 2017; CONAGUA, 2017.

5.3.Escenario 1: reducción del recurso hídrico del 15%

El Programa Hídrico del Estado de Baja California 2035 (CEA, 2016) expone que para 2035 se prevé una disminución de uso para el agua superficial del Río Colorado del 7% ante el cambio climático, mientras que para el agua subterránea se registra una disminución del 14%

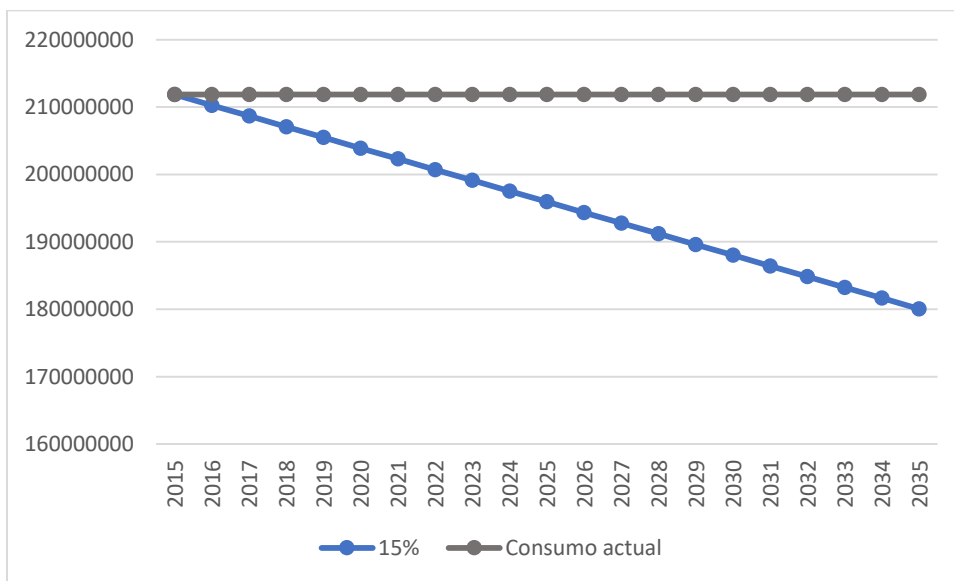
por aspectos de cambio climático, por lo que para el caso de presentar un escenario de reducción moderado, el porcentaje de 15% es un adecuado ejemplo.

Figura 9. Escenario de reducción del 15% para el CADER Delta con base en volúmenes estimados para el ciclo otoño-invierno de 2015.



Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA, 2017; CONAGUA, 2017.

Figura 10. Escenario de decremento del 15% en el suministro hídrico del trigo para el CADER Delta con base en volúmenes estimados para el ciclo otoño-invierno de 2015.



Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA, 2017; CONAGUA, 2017.

La figura 10 muestra que al continuar con un consumo actual hídrico para el cultivo trigo, ante un escenario de disminución del 15% no se podría sustentar la producción; se recalca que el suministro se reduciría en 31,776,300 m³.

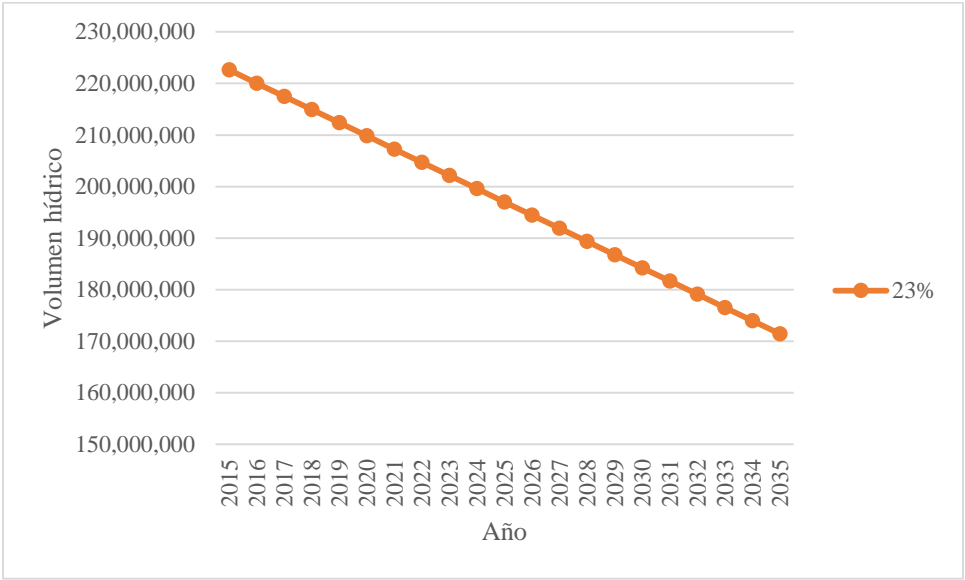
5.4. Escenario 2: reducción del recurso hídrico del 23%

El reporte de escenarios hídricos para el Estado de California en Estados Unidos, del cual se comparte y depende el recurso hídrico que llega a Baja California, expone que para 2030 se podría reducir el uso del recurso hídrico en un 20% que el registrado en el año 2000 por medio de la eficiencia de su uso (Gleick, Cooley y Groves, 2005).

De acuerdo al Programa Hídrico del Estado de Baja California 2035 (CEA, 2016) se pronostica un 23% de reducción total en el recurso hídrico que llega a Mexicali. En el caso del agua subterránea, la reducción estimada va en una disminución de uso del 21% en estabilización y del 14% por aspectos de cambio climático. En el caso del agua superficial del Río Colorado, la disminución estimada es del 7% ante el cambio climático, lo que resulta a una disminución total estimada de -691 hm³ (el 23%). Ante estas perspectivas se realizó la estimación del modelo dinámico complementando el anteriormente mencionado de la tesis de García (2015). En este complemento se añadió la superficie total sembrada para cada CADER, la superficie sembrada para cada uno y el volumen de agua de acuerdo a la lámina de riego (0.98 m), bajo el supuesto que la superficie de trigo se mantuviera constante y el uso de lámina de riego también.

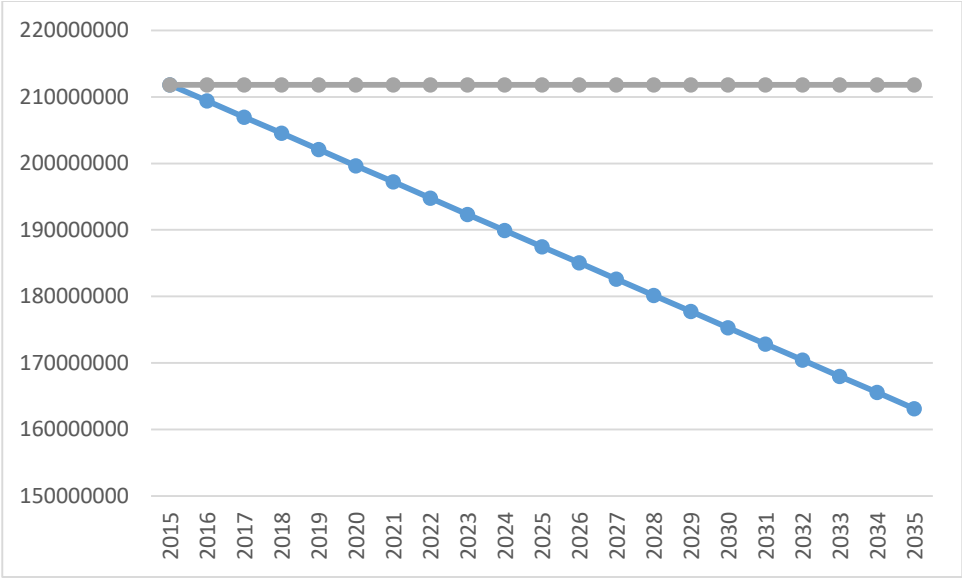
La figura 11 expone la pendiente de la reducción del 23%, lo que modifica el volumen hídrico para el CADER Delta del valle de Mexicali, mientras que el volumen hídrico necesitado para el valle y para el CADER Delta se mantengan constantes, y el registro de suministro de agua se reduzca, no será posible la siembra de la cantidad o del tipo de cultivos que hasta el momento se registraron. Es decir, que mientras el consumo hídrico para el valle o el CADER se mantiene, el suministro de agua va en decremento, lo que separa el punto de encuentro entre las entradas y salidas de agua, poniendo en riesgo el stock de agua necesario para el mantenimiento y circulación del sistema y para la cosecha de los cultivos.

Figura 11. Escenario de reducción del 23% para el CADER Delta con base en volúmenes estimados para el ciclo otoño-invierno de 2015.



Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA, 2017; CONAGUA, 2017.

Figura 12. Disminución del 23% del suministro hídrico para el trigo para el CADER Delta con base en volúmenes estimados para el ciclo otoño-invierno de 2015.



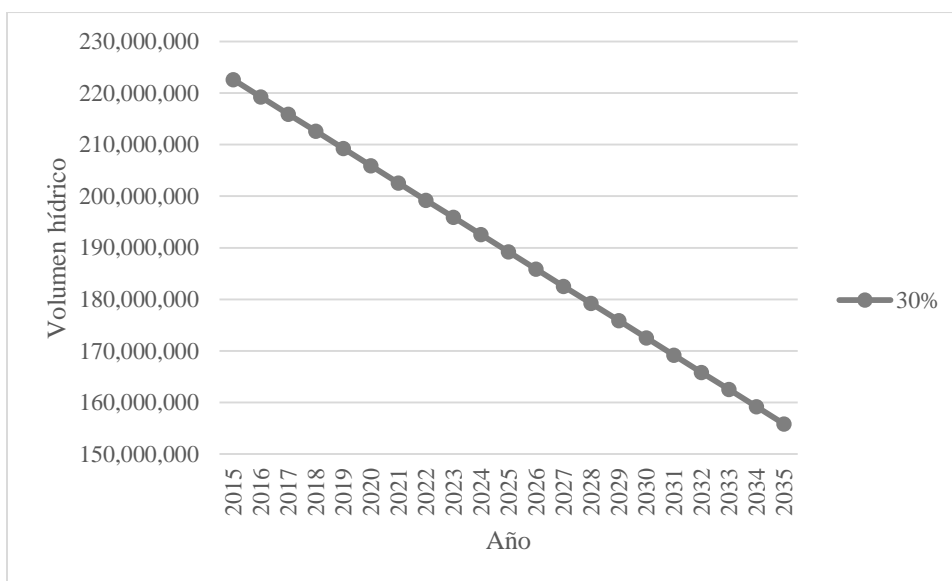
Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA, 2017; CONAGUA, 2017.

Este porcentaje de disminución de suministro hídrico para el cultivo trigo rebasa los 48,700,000 m³, a lo que posteriormente se expresarán las opciones que puedan dar solución a esta disminución de suministro para una reconversión de cultivos (figura 12).

5.5. Escenario 3: reducción del recurso hídrico del 30%

Manteniendo la tendencia de la reducción del recurso hídrico ante el primer escenario, se plantea uno con cambios más severos en los que el suministro se reduce en un 30% en los que grandes potencias internacionales como China, plantean dentro de sus políticas hídricas la reducción del 30% del gasto a este recurso.

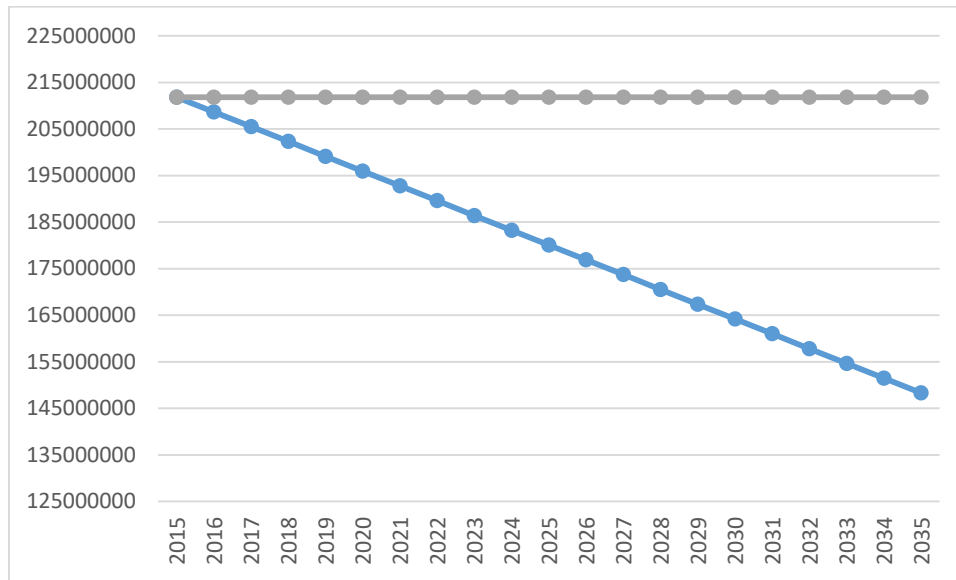
Figura 13. Escenario de reducción del 30% para el CADER Delta con base en volúmenes estimados para el ciclo otoño-invierno de 2015.



Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA, 2017; CONAGUA, 2017.

La figura 13 muestra la gráfica de la disminución del porcentaje hídrico total del CADER Delta en una estimación por conocer como impactaría un cambio climático severo en la zona. La figura 14 muestra el consumo hídrico estimado actual y el estimado con una reducción del 30%, la figura es evidente en ambos casos (general y particular) al evidenciar que ante un cambio climático no se podría continuar la producción de trigo como se conoce actualmente, necesariamente se tendrían que reducir las hectáreas sembradas para reducir en consumo hídrico.

Figura 14. Escenario de reducción del 30% del suministro hídrico para el CADER Delta con base en volúmenes estimados para el ciclo otoño-invierno de 2015.



Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA, 2017; CONAGUA, 2017.

Para esta proyección se presentan los mismos tres escenarios con las reducciones del recurso hídrico, pero adaptadas al Centro de Apoyo al Desarrollo Rural Delta para el periodo 2015-2035 con base en los consumos registrados en el ciclo otoño-invierno. CONAGUA (2017) proporcionó parte de las láminas de riego promedio que se utilizan en varios de los cultivos que se siembran en el valle de Mexicali y el resto de las láminas se tomaron de los autores Ruiz et al. (2013). Estas láminas de riego se multiplicaron por los 10,000 m² que representa una hectárea para conseguir el volumen utilizado por cultivo por hectárea y multiplicarlo por el número de hectáreas para conseguir el volumen total utilizado por cultivo sembrado. Los volúmenes se sumaron para conseguir un volumen total aproximado utilizado en el CADER Delta. Es desde allí de donde se parte para realizar las reducciones de los tres escenarios de cambio climático que se presentan.

Con base en estas estimaciones de reducción se hace evidente la necesidad de implementar una reconversión de cultivos que se lleve a cabo en gran parte del territorio en donde se siembra trigo, pues este contempla más del 90% de la superficie sembrada del CADER Delta. El cambio de cultivo estimula el ahorro de agua y sobre todo el ingreso del productor ante un producto más rentable. El CADER Delta puede ser el ejemplo para el resto del valle de Mexicali de la acertada decisión del cambio, por lo que a continuación se muestra

la justificación del consumo y el ingreso que representaría al cambiar el trigo por otros cultivos, que mediante la fórmula de eficiencia anteriormente presentada se seleccionaron las mejores opciones para el productor.

5.6. Propuesta de reconversión de cultivos, nuevos consumos hídricos

Las siguientes tablas se han elaborado con los datos proporcionados por SAGARPA y CONAGUA (2017) y se ha dado tratamiento a la información para mostrar los cambios que se pueden realizar en materia hídrica ante una modificación de la superficie sembrada en el CADER Delta y el ahorro que representaría o el ajuste de adaptación al cambio climático necesario.

Tabla 18. Estimación volumen hídrico, ingreso y producción por cultivo del CADER Delta del periodo otoño-invierno de 2015.

<i>Cultivos</i>	<i>Lam riego</i>	<i>Pmr</i>	<i>Sup semb</i>	<i>Sup cosech</i>	<i>% sup semb</i>	<i>Vol hid x ha.</i>	<i>Vol hid total</i>	<i>Ingreso por ha.</i>	<i>Prod ton</i>	<i>Ingreso total</i>
<i>Ajo</i>	1	12000	60	60	0.29	10000	600000	120000	600	7200000
<i>Avena</i>	1.3	1800	219.5	219.5	1.06	13000	2853500	16612	2025.75	3646350
<i>Brócoli</i>	1.2	7142	7.5	7.5	0.04	12000	90000	199976	210	1499820
<i>Cártamo</i>	0.91	5334	375	368	1.81	9100	3412500	15415	1063.52	5672815.68
<i>Cebolla</i>	0.8	7000	20	20	0.10	8000	160000	357000	1020	7140000
<i>Cebollín</i>	0.94	14488	121	121	0.58	9400	1137400	188344	1573	22789624
<i>Chile</i>	1.2	7000	7	7	0.03	12000	84000	47740	47.74	334180
<i>Cilantro</i>	1.4	10555	20	20	0.10	14000	280000	68608	130	1372150
<i>Col de Bruselas</i>	1.2	25200	17	17	0.08	12000	204000	365400	246.5	6211800
<i>Lechuga</i>	0.8	6818	19	19	0.09	8000	152000	299992	836	5699848
<i>Remolacha</i>	*	673	33	0	0.16	*	*	*	*	*
<i>Repollo</i>	1	3200	3.5	3.5	0.02	10000	35000	160000	175	560000
<i>Rye-grass</i>	0.89	500	156	156	0.75	8900	1388400	22500	7020	3510000
<i>Trigo grano cristalino</i>	1.08	3750	19615	19598	94.78	10800	211842000	22128	115697	433660573
<i>Zanahoria</i>	1.7	2200	22.5	22.5	0.11	17000	382500	39600	405	891000
<i>Suma</i>	-	-	20696	20639	100	-	222621300	-	-	500188161

Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA, 2017; CONAGUA, 2017.* Información no existente.

En la tabla 18 se muestran los volúmenes hídricos por hectárea, volúmenes totales por hectáreas sembradas, ingresos por hectárea, producción por tonelada e ingresos totales de los cuales se parte para realizar los escenarios de reconversión de cultivos con los seis

cultivos seleccionados anteriormente (brócoli, cebolla, cebollín, col de Bruselas, lechuga y repollo).

Para el ciclo otoño-invierno, el trigo representó el 94% de la superficie sembrada y un volumen total estimado de 211,842,000 de m³ en Delta, lo cual representó el 95% del recurso hídrico utilizado en el CADER. Si de estas hectáreas destinadas a trigo (19615 ha.) se asigna el 50% (9807.5 ha.) para la reconversión de cultivos y se destinan por partes iguales a sembrar los 6 cultivos seleccionados mediante la eficiencia del uso del volumen hídrico y el ingreso monetario (brócoli, cebolla, cebollín, col de Bruselas, lechuga, repollo), los resultados serían los siguientes:

Las nuevas distribuciones territoriales de cultivos registrados en la tabla 18 dejan al trigo grano con 9,807 hectáreas cultivables y a los seis cultivos seleccionados con una extensión de aproximadamente 1,600 hectáreas cada uno; al resto de los cultivos se les dejó intacta la extensión original cultivable. En porcentajes el trigo sumaría el 47% del territorio sembrado, mientras que los seis cultivos seleccionados abarcarían más/menos 8% del territorio cada uno, y los demás cultivos representarían menos del 2% de la extensión territorial cada uno.

En volúmenes hídricos totales por cultivo utilizados, el trigo conservaría el primer lugar en el consumo con 105,000,000 m³, seguido por los seis cultivos seleccionados (brócoli, cebolla, cebollín, col de Bruselas, lechuga y repollo) que consumirían cada uno cantidades que van desde los 13,000,000 hasta los 19,000,000 m³, y el resto de cada uno de los cultivos llevarían un consumo total que va desde los 84,000 hasta los 3,000,000 m³ aproximadamente.

Tabla 19. Reconversión del 50% del territorio sembrado de trigo del ciclo otoño-invierno de 2015.

<i>Cultivos</i>	<i>Lam riego</i>	<i>Pmr</i>	<i>Ingreso por ha</i>	<i>Recon cultivos ha.</i>	<i>Nuevos %</i>	<i>Nuevo vol hídrico</i>	<i>Nuevo ingreso total</i>
<i>Ajo</i>	1	12000	120000	60	0.29	600000	7200000
<i>Avena</i>	1.3	1800	16612	219.5	1.06	2853500	3646350
<i>Brócoli</i>	1.2	7142	199976	1642.083	7.93	19705000	328377256.7
<i>Cártamo</i>	0.91	5334	15415	375	1.81	3412500	5780722.5
<i>Cebolla</i>	0.8	7000	357000	1654.583	7.99	13236666.7	590686250
<i>Cebollín</i>	0.94	14488	188344	1755.583	8.48	16502483.3	330653587.3
<i>Chile</i>	1.2	7000	47740	7	0.03	84000	334180
<i>Cilantro</i>	1.4	10555	68608	20	0.10	280000	1372150
<i>Col de Bruselas</i>	1.2	25200	365400	1651.583	7.98	19819000	603488550

<i>Lechuga</i>	0.8	6818	299992	1653.583	7.99	13228666.7	496061771.3
<i>Remolacha</i>	*	673	*	33	0.16	*	0
<i>Repollo</i>	1	3200	160000	1638.083	7.91	16380833.3	262093333.3
<i>Rye-grass</i>	0.89	500	22500	156	0.75	1388400	3510000
<i>Trigo grano cristalino</i>	1.08	3750	22128	9807.5	47.39	105921000	217018372.8
<i>Zanahoria</i>	1.7	2200	39600	22.5	0.11	382500	891000
<i>Suma</i>	-	-	-	20696	100	213794550	2851113524

Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA, 2017; CONAGUA, 2017.

* Información no existente.

En general, los ingresos ascenderían a 2,851,113,524 pesos, es decir, se tendría un aumento total del ingreso de 2,350,925,363 y el volumen hídrico total del CADER se registraría en 213,794,550 m³, por lo que se presentaría un ahorro del recurso hídrico de 8,826,750 m³, es decir, un ahorro del 3.96% (tabla 19).

Tabla 20. Reconversión del 80% de la superficie sembrada de trigo en CADER Delta de acuerdo a lo registrado en el ciclo otoño-invierno de 2015.

<i>Cultivos</i>	<i>Lam riego</i>	<i>PMR</i>	<i>Ingreso por ha</i>	<i>Reconv cultivos ha.</i>	<i>Nuevos %</i>	<i>Nuevo vol hídrico</i>	<i>Nuevo ingreso total</i>
<i>Ajo</i>	1	12000	120000	60	0.28991109	600000	7200000
<i>Avena</i>	1.3	1800	16612	219.5	1.06059142	2853500	3646350
<i>Brócoli</i>	1.2	7142	199976	2622.83	12.6731413	31474000	524503718.7
<i>Cártamo</i>	0.91	5334	15415	375	1.81194434	3412500	5780722.5
<i>Cebolla</i>	0.8	7000	357000	2635.33	12.7335395	21082666.7	940814000
<i>Cebollín</i>	0.94	14488	188344	2736.33	13.2215565	25721533.3	515371965.3
<i>Chile</i>	1.2	7000	47740	7	0.03382296	84000	334180
<i>Cilantro</i>	1.4	10555	68608	20	0.09663703	280000	1372150
<i>Col de Bruselas</i>	1.2	25200	365400	2632.33	12.7190439	31588000	961854600
<i>Lechuga</i>	0.8	6818	299992	2634.33	12.7287076	21074666.7	790278925.3
<i>Remolacha</i>	*	673	*	33	0.1594511	*	0
<i>Repollo</i>	1	3200	160000	2618.83	12.6538139	26188333.3	419013333.3
<i>Rye-grass</i>	0.89	500	22500	156	0.75376884	1388400	3510000
<i>Trigo grano cristalino</i>	1.08	3750	22128	3923	18.9553537	42368400	86807349.11
<i>Zanahoria</i>	1.7	2200	39600	22.5	0.10871666	382500	891000
<i>Suma</i>	-	-	-	20696	100	208498500	4261378294

Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA, 2017; CONAGUA, 2017.

* Información no existente.

Si se hiciera progresiva la reconversión y se destinara el 80% de las hectáreas que se sembraron para trigo en partes iguales a los mismos 6 cultivos seleccionados, las hectáreas de trigo sembrado sumarían solo 3923, mientras que la superficie destinada a brócoli ascendería a 2,622 hectáreas, el área destinada a cebolla registraría 2,635 ha., el cebollín 2,736, la col de Bruselas 2,632, la lechuga 2,634 y el repollo 2,618 hectáreas. Cabe mencionar que los demás cultivos (ajo, avena, cártamo, chile, cilantro, remolacha, rye grass y zanahoria) mantendrían las cantidades originales de hectáreas registradas en el análisis (tabla 20).

Los nuevos volúmenes hídricos totales registrados para el CADER Delta llegarían a 208,498,500 m³, lo cual se traduce en un ahorro de 14,122,800 o bien, en porcentaje una reducción aproximada del 6%. Además, en términos monetarios el nuevo ingreso total del CADER sumaría 4,261,378,294.28, traducido en un incremento de 3,761,190,133.60 pesos. Si bien este ahorro hídrico no es impresionante, si es el mínimo requerido ante una modificación en la reducción superficial del suministro estimada por el Plan Hídrico de Baja California a 2035 (CEA, 2016) (tabla 20).

Ante un escenario de reducción como los antes mostrados, las necesidades hídricas tendrían que ajustarse, por lo que la propuesta del siguiente escenario es reconvertir el 100% del área que se siembra de trigo en un solo cultivo que consuma la menor cantidad de agua con la mayor ganancia estimada, por lo que se realizó la tabla 21.

En este escenario, se deja de sembrar trigo y se destina la superficie únicamente al cebollín, por lo que la reducción de consumo hídrico asciende a 27,461,000 m³, lo que equivale a un 12% del total utilizado en el CADER Delta; este ahorro semeja al escenario moderado de cambio climático y podría ajustarse a medidas de recorte o de sequía.

En cuanto al ingreso total registrado para el CADER en el escenario, la cifra asciende a 3,761,003,055 pesos, lo que se traduce en un aumento de 3,260,814,894 de pesos, pero solo si el total de la superficie registrada para trigo en 2015 otoño-invierno se destinara en su totalidad a sembrar cebollín. A estos escenarios se podría añadir cambios en la infraestructura de riego, lo cual se suma al cuidado del medio ambiente y al óptimo aprovechamiento del recurso monetario del productor, pues también los permisos de riego son un gasto fijo que se requiere al momento de cultivar.

Tabla 21. Reconversión del 100% de la superficie sembrada de trigo a cebollín de estimaciones de CADER Delta del ciclo otoño-invierno de 2015.

<i>Cultivos</i>	<i>Lam riego</i>	<i>PMR</i>	<i>Ingreso por ha</i>	<i>Reconversión de cultivos</i>	<i>Nuevos %</i>	<i>Nuevo vol hídrico</i>	<i>Nuevo ingreso total</i>
<i>Ajo</i>	1	12000	120000	60	0.28991109	600000	7200000
<i>Avena</i>	1.3	1800	16612	219.5	1.06059142	2853500	3646350
<i>Brócoli</i>	1.2	7142	199976	7.5	0.03623889	90000	1499820
<i>Cártamo</i>	0.91	5334	15415	375	1.81194434	3412500	5780723
<i>Cebolla</i>	0.8	7000	357000	20	0.09663703	160000	7140000
<i>Cebollín</i>	0.94	14488	188344	19736	95.3614225	185518400	3717157184
<i>Chile</i>	1.2	7000	47740	7	0.03382296	84000	334180
<i>Cilantro</i>	1.4	10555	68608	20	0.09663703	280000	1372150
<i>Col de Bruselas</i>	1.2	25200	365400	17	0.08214148	204000	6211800
<i>Lechuga</i>	0.8	6818	299992	19	0.09180518	152000	5699848
<i>Remolacha</i>	*	673		33	0.1594511	*	0
<i>Repollo</i>	1	3200	160000	3.5	0.01691148	35000	560000
<i>Rye-grass</i>	0.89	500	22500	156	0.75376884	1388400	3510000
<i>Trigo grano cristalino</i>	1.08	3750	22128	0	0	0	0
<i>Zanahoria</i>	1.7	2200	39600	22.5	0.10871666	382500	891000
<i>Suma</i>	-	-	-	20696	100	195160300	3761003055

Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA, 2017; CONAGUA, 2017.

* Información no existente.

5.7. Algunos requerimientos necesarios para la reconversión de cultivos

La Ley de Desarrollo Rural Sustentable de 2001 (DOF, 2012) establece en sus artículos que para lograr el desarrollo sustentable, el Estado debe reconocer las áreas vulnerables en pro de la conducción al mejoramiento sostenido y sustentable, para el fomento de actividades productivas y la conservación de los recursos naturales. En este sentido, el cuidado del agua y la producción de alimentos está plenamente ligado a los objetivos, por lo que, continuar con la producción de trigo en los porcentajes en los que se siembra para el valle de Mexicali y en específico para el CADER Delta, es totalmente contrario al objetivo de la ley. Además en ésta se especifica que se busca el mejoramiento de los recursos naturales orientados a la diversificación de la actividad productiva, por lo que se tiene también como objetivo elevar la productividad, rentabilidad, competitividad e ingreso, entre otros. Sembrar en un 80 o 90% de la superficie del CADER del cultivo trigo, es en este caso una forma ineficiente del uso del agua, de la extensión territorial, de la capacidad del suelo y del ingreso monetario.

Ante este panorama evidente, las opciones que se plantean en la Ley de Desarrollo Rural Sustentable (DOF, 2012) expresan que el Estado ha de fomentar la inversión en infraestructura para incrementar, diversificar y reconvertir la producción en el área rural, para la ampliación del mercado interno y de demanda externa. Para la ampliación de la capacidad productiva y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. En efecto, la reconversión de cultivos en el valle es un paso que debe darse lo más pronto posible, no solo por la demanda de alimentos, sino por el cuidado del medio ambiente, ya sea del suelo, que cada vez es más salino, o por el agua, que se vislumbran reducciones de mínimo un 7%.

En este sentido, la reconversión de cultivo la explica SAGARPA como “el cambio de producto o actividad que representa mayor rentabilidad económica y viabilidad social para el productor, al mismo tiempo que da un mejor uso del suelo, mejora la fertilidad del mismo y rompe con el ciclo biológico de plagas y enfermedades” (2016: 1). Además, la reconversión tiene varias formas, ya sea cambiar a otro cultivo anual, cambiar a un cultivo perenne, o cambiar de un cultivo anual de temporal a uno de pastizales, o bien, cambiar de una actividad agrícola a una pecuaria.

En el valle de Mexicali ya se ha propuesto la reconversión de cultivos que a partir de 2013 se implementó a nivel nacional, teniendo una notoria aceptación por parte de los agricultores a nivel nacional, en tanto que a nivel local, la reconversión de cultivos sigue promoviéndose para que se cambien el cultivo trigo por otro, en especial por maíz, cártamo y algodón. En estos tres cultivos se promueven recomendaciones tecnológicas para tener un mayor rendimiento en la producción y por ser algunos de los que toleran altos grados de salinidad en el suelo (SAGARPA, 2014). Para una reconversión de cultivos hay factores que deben tomarse en cuenta, como el tipo de suelo, la evapotranspiración, la salinidad, entre otros.

El caso del CADER Delta presenta la diferente variedad de suelos del valle, es decir, presenta suelos arenosos, los cuales son fáciles de trabajar, pero tienen pocas reservas de nutrientes aprovechables por las plantas; presenta suelos limosos, los cuales tienen gránulos de tamaño intermedio y son fáciles de trabajar y fértiles, además cuando están secos forman terrones fáciles de trabajar; y presentan suelos arcillosos, mismos que forman barro estando saturados de agua pues sus partículas son finas, estos suelos son pesados, no se drenan ni

desecan fácilmente, contienen grandes cantidades de nutrientes pero son muy impermeables y cuando se secan se agrietan (FAO, 2017).

Una producción óptima de hortalizas se obtiene con suelos limo-arenosos con un buen sistema de drenaje pero estas se adaptan al tipo de suelo en donde se desarrollen, aunque tienen dificultad para adaptarse a suelos arcillosos (Martínez, 2017), por lo que en la propuesta de nuevos cultivos es necesario contemplar aquellos que son acordes con el tipo de suelo que se tiene en el CADER. Además, los suelos también pueden clasificarse en ácidos, neutros o salino (alcalino). Los fuerte o extremadamente ácidos pueden contener toxicidad de aluminio y manganeso y posibles deficiencias en fósforo, calcio, magnesio y molibdeno. Un suelo casi neutro o neutro registra reservas de calcio y magnesio y fósforo moderadamente, además presenta bajos niveles de micronutrientes excepto de molibdeno. Un suelo muy alcalino no permite el crecimiento de las plantas por exceso de sodio (FAO, 2013). Esto significa que los diferentes cultivos toleran ciertos tipos de suelos por sus condiciones y necesidades hídricas. Para el caso de este estudio se toma el tipo de suelo más común del valle de Mexicali el cual es mayormente arcilloso para el consumo de agua de los diferentes escenarios del CADER Delta.

De igual manera otra de las razones por las cuales la reconversión de cultivos está siendo motivada entre los productores del valle de Mexicali, es por la búsqueda del incremento de los ingresos económicos, por lo que la asesoría técnica y algunos apoyos en pro de la reconversión son mecanismos de promoción actual (SAGARPA, 2017).

Para llegar al objetivo no solo hay que saber qué hacer (la reconversión de cultivos) sino cómo llegar a ella para lograr los mejores resultados en conjunto gobierno, sociedad, productor, comercio. Para lograr estos objetivos, hay programas a nivel nacional que se encaminan a esta reconversión de cultivos desde hace varios años.

Para poder plantear una reconversión de cultivos se han considerado algunos aspectos que cada cultivo necesita como el tipo de suelo, tolerancia a altas temperaturas, tolerancia a acidez o a salinidad. Por lo que se presentan a continuación una serie de posibles cultivos para la reconversión en el CADER Delta y/o valle de Mexicali, tomando en cuenta aquellos que ya se han sembrado o los que podrían ajustarse a los requerimientos agroecológicos de los cultivos.

El trigo puede ser sembrado en suelos arcillosos y arenosos, en tanto que se tenga un buen sistema de drenaje y no presente alta acidez o sodicidad; la alfalfa se puede cultivar en muchos tipos de suelos pero estos deben ser profundos con buen drenaje; en el caso del algodón, muchos tipos de suelos pueden ser compatibles, pero las condiciones óptimas requieren de buena aireación, adecuada retención de agua y grandes cantidades de materia orgánica, es por tanto que los suelos arenosos no son recomendables y los arcillosos pueden generar enfermedades o dificultades de germinación en la planta, además es resistente a la salinidad, alcalinidad y altas temperaturas; las hortalizas necesitan un suelo limo-arenoso con un buen sistema de drenaje para una producción óptima y no soportan un suelo sumamente arcilloso por la falta de drenaje y aireación, lo que le puede causar enfermedades o deformidades al cultivo (SAGARPA, 2012) (Ruiz, et al., 2013).

El ajo prospera en suelos francos, franco-arcillosos y franco-arcillosos-limosos que son poco profundos, requiere buen drenaje, tolera ligeramente la acidez y la salinidad y las altas temperaturas estimulan el bulbo, pero para la formación temprana del cultivo son necesarias temperaturas bajas (Ruiz, et al., 2013).

La avena se desarrolla bien en suelos de mediana profundidad, buen drenaje, que prefiere suelos arcillo-limosos o franco-arcillosos, presenta tolerancia a la salinidad pero no a las altas temperaturas, pues al igual que el trigo requiere de un periodo de vernalización en las primeras etapas de desarrollo, para lograr una buena floración (Ruiz, et al., 2013).

La berenjena requiere suelos profundos, de tipo francos, franco-arcillosos o areno-arcillosos que tengan un buen sistema de drenaje, es moderadamente tolerante a la salinidad y especímenes transgénicos presentan tolerancia a la salinidad, bajas temperaturas, estrés hídrico y sequía (Ruiz, et al., 2013).

El betabel requiere suelos profundos, francos, de textura media a ligeramente pesada y con un buen sistema de drenaje. Este cultivo tolera altos niveles de salinidad y de altas temperaturas pero modifica el rendimiento y los niveles de azúcar, es decir, la calidad del betabel (Ruiz, et al., 2013).

El brócoli requiere suelos de mediana profundidad, arenosos o en cierta medida arcillosos con buen sistema de drenaje, prospera con baja intensidad luminosa y tolera cierta salinidad, además de ser considerado un cultivo no tolerante al calor (Ruiz, et. al, 2013).

La calabacita requiere suelos de mediana profundidad, francos, franco-arenosos, franco-limosos, franco-arcillo-limosos, franco-arcillosos y con buen drenaje, resiste altos niveles de salinidad y poca tolerancia a las altas temperaturas (Ruiz, et. al, 2013).

La calabaza requiere de suelos profundos en diversos tipos de suelos que tengan buen drenaje, con baja a media tolerancia de salinidad y resiste temperaturas relativamente altas (Ruiz, et al., 2013).

El cártamo requiere de suelos profundos y de textura media como suelos francos, franco-arcillosos-limosos, franco-arcillosos, bien drenados, tolera moderadamente la salinidad y sodicidad, pero tolera altas temperaturas (Ruiz, et. al, 2013).

La cebada se desarrolla en suelos poco profundos y se adapta a diferentes tipos de suelo aunque la textura optima es franco (medio) y migajoso-arenoso con buen drenaje, tiene alta tolerancia a la salinidad pero poco a la acidez, además de que tolera altas temperaturas (Ruiz, et al., 2013).

La cebolla no requiere suelos profundos pero de buen drenaje, preferentemente suelos migajones, francos, franco-arenosos, franco-arcillo-limosos. Es tolerante a las heladas, exige mucha insolación, no tolera la acidez y es moderadamente tolerante a la salinidad (Ruiz, et al., 2013).

El cilantro requiere de suelos profundos, y se da en suelos como los franco silíceo-arcillosos, ligeros y frescos, presenta tolerancia a la salinidad, pero es muy sensible a altas temperaturas en etapa de floración (Ruiz, et. al, 2013).

La col de Bruselas requiere poca profundidad del suelo con textura franca o franca-limosa bien drenado, aunque el óptimo es un suelo limo-arenoso, es medianamente tolerante a la salinidad y no tolera altas temperaturas (Ruiz, et. al, 2013).

El esparrago requiere suelos de mediana profundidad, de textura media como suelos francos, franco-arenosos o franco-arcillosos que cuenten con buen drenaje, este cultivo tolera la salinidad y es resistente a altas temperaturas (Ruiz, et. al, 2013).

La lechuga requiere suelos medianamente profundos, ligeros, de textura franca, de migajón-arcillo-limosos o migajón-arenosos con buen sistema de drenaje, es ligeramente tolerante a la salinidad, pero no tolera altas temperaturas (Ruiz, et. al, 2013).

El maíz requiere suelos profundos y preferentemente franco-limosos, franco-arcillosos o franco-arcillo-limosos y de muy buen drenaje, tolera medianamente la salinidad pero no tolera temperaturas muy altas (Ruiz, et. al, 2013).

El melón requiere suelos de mediana profundidad, livianos, franco-arenosos y no le favorecen suelos arcillosos, es moderadamente tolerante a la salinidad y tolerante a las temperaturas relativamente altas (Ruiz, et. al, 2013).

El naranjo requiere suelos bastante profundos de textura franco-arenosa, franca y franco-arcillosa, aunque se puede adaptar hasta suelos de arcilla pesada que tengan buen drenaje. De baja tolerancia a la salinidad y gran tolerancia a las altas temperaturas (Ruiz, et. al, 2013).

La palma datilera prefiere suelos medios con un buen drenaje y buena retención de humedad pero se adapta a casi todo tipo de suelos, además se desarrolla adecuadamente en zonas con temperaturas invernales moderadas, veranos largos en época de maduración y poca lluvia, y tolera altas temperaturas, salinidad y sequía (INIFAP, 2012; INFOAGRO, 2017).

El repollo se puede cultivar en diferentes tipos de suelo, pero en suelos arcillosos el cultivo es más largo, tolera la acidez del suelo y las bajas temperaturas (MAG, 2017; Asistencia Técnica Agrícola, 2017).

El rye grass necesita un suelo preferentemente neutro o ligeramente alcalino, se adapta a muchos tipos de suelo pero se recomienda suelos con fertilidad media, arcillosos, franco-arenosos de buen drenaje, resiste heladas (TECNOAGRO, 2011).

El sorgo requiere suelos de mediana profundidad, de textura ligera a mediana con buen drenaje, es moderadamente tolerante a la salinidad y requiere de altas temperaturas para su desarrollo normal (Ruiz, et. al, 2013).

El tomatillo necesita suelos medianamente profundos aunque puede desarrollarse en suelos con poca profundidad, de suelos franco-arenosos, arcillo-arenosos, y orgánicos, este cultivo presenta baja tolerancia a la salinidad y en parte de su proceso tolera altas temperaturas (Ruiz, et. al, 2013).

El tomillo es un cultivo que suelos profundos, pero puede desarrollarse en suelos poco profundos, preferentemente suelos de aluvión y calcáreos, aunque se puede desarrollar en suelos arcillosos, ligeros y silíceos con un buen drenaje. Se desarrolla en suelos con un PH de neutro a alcalino, además de que presenta baja tolerancia a la salinidad y mediana tolerancia a las altas temperaturas (Ruiz, et. al, 2013).

La vid necesita suelos profundos de textura franco-arenosa pero puede desarrollarse en otros tipos de suelos, siempre y cuando tengan buen drenaje. Es medianamente tolerante a la salinidad y las altas temperaturas y el cambio climático han realizado modificaciones en los procesos productivos del cultivo (Ruiz, et. al, 2013).

El zacate bermuda crece en diversos tipos de suelos que van desde arenosos hasta arcillosos que tengan buen drenaje, soporta salinidad, heladas y sequias (Feuchter, 2000).

La zanahoria necesita suelos medianamente profundos de textura arcillo-arenosa, franco o franco-arenosa de buen drenaje, este cultivo es medianamente tolerante a la salinidad y las temperaturas altas afectan la calidad de la raíz (Ruiz, et. al, 2013).

Todos los cultivos anteriormente mencionados son algunas opciones que se han sembrado en el CADER o que podrían sembrarse en él para una variedad de reconversión, que si bien podrían consumir el mismo nivel de agua que el trigo, bien podrían dar un mayor ingreso al productor y que, como se mostró en la eficiencia y los escenarios de cambio climático el resultado preliminar en números es evidente.

5.8. Otras alternativas para el ahorro del recurso hídrico

La reconversión de cultivos es una de las propuestas para el ahorro del recurso hídrico y el aumento del ingreso percibido por el productor, pero existen otras alternativas que están encaminadas a la tecnificación del riego y que, si bien en un primer plano requieren de la inversión del productor, estas se enfocan al mejor uso del agua, de los recursos y de una mayor y mejor productividad en un ambiente controlado.

Entre los programas que promueven el fomento a la agricultura para el presente año 2017 se encuentran el componente de mejoramiento productivo de suelo y agua, en donde se busca optimizar los costos de producción y mitigar el impacto al medio ambiente a partir del mejoramiento productivo del suelo y agua, así como contribuir al uso eficiente y aprovechamiento de los recursos naturales asociados a la agricultura. Estos incentivos son la recuperación de suelos con degradación agroquímica (principalmente pérdida de fertilidad) y los sistemas de riego tecnificados. De estos dos incentivos, los sistemas de riego tecnificados podrían ser los más adecuados para el apoyo técnico hacia una reconversión de cultivos en donde se incentiva monetariamente al productor agrícola, ya sea persona moral o física con hasta 10,000 pesos por hectárea en sistemas de riego por multicompuertas; hasta 17,000 pesos por hectárea en sistemas de riego por aspersión, por micro aspersión y goteo; a primer instancia estos programas solicitan requisitos son básicos que fáciles de consultar pues están disponibles en internet y van desde el nombre, domicilio, CURP, comprobante de la posesión legal del predio, entre otros (SAGARPA, 2017).

Enfoques de tecnificación de agricultura familiar bajo riego realizados en Ecuador proponen la dinamización de la agricultura mediante la coparticipación y corresponsabilidad en los procesos de planificación a tres niveles: local, regional y nacional. En este modelo, se planifica el territorio bajo riego, se realiza una gestión participativa de las competencias y se lleva a cabo una gestión compartida entre los actores. En primer nivel se plantea el manejo eficiente de suelo y agua para el productor, en segundo nivel se habla de la coordinación y consensos de la planificación del territorio y en tercer nivel los actores públicos en la gestión de estrategias (Larrea y Sosa, 2014).

En cuanto al manejo eficiente del agua, este mismo modelo se basa en “la presurización de los sistemas de riego” los cuales son principalmente goteo, aspersión y

microaspersión. Aseguran que con este tipo de métodos de riego se puede obtener un incremento del 10 al 15% como mínimo, y que el éxito en la ejecución del mismo se encuentra en la etapa de diseño con la participación activa de los actores en los procesos, por lo que un diseño participativo coadyuva a que el técnico, el productor y la organización elijan los criterios adecuados para el sistema a implementar (Larrea y Sosa, 2014).

Un paso importante en la planificación del diseño del sistema es la generación de espacios para la capacitación, observación o discusión de los agricultores con referencia a los sistemas de riego a implementar, y que estos sistemas deben contemplar las particularidades de las condiciones climáticas predominantes o peculiaridades del entorno (Larrea y Sosa, 2014).

Dentro de la gama de programas que a nivel nacional se han implementado en relación a la agricultura para 2012 a través de SAGARPA, CONAGUA, y/o SEMARNAT, se encuentran (CONEVAL, 2012):

- La tecnificación de riego. Que tecnificó más de 108,000 hectáreas y que buscó que los proyectos sean confinados a otras fuentes compartidas. Desafortunadamente no se tiene contemplada una población potencial ni objetivo, por lo que no hay parámetros para comparar los resultados obtenidos. Además a partir de 2008, el presupuesto destinado ha sido sujeto a reducciones.
- Programa de sustentabilidad de los recursos naturales. En este programa se busca coadyuvar a la sustentabilidad rural y pesquero por medio de la preservación del agua, suelo y otros; busca elevar la sustentabilidad ganadera y la reconversión productiva a cultivos sustentables.
- Programa de rehabilitación, modernización y equipamiento de Distritos de Riego. Se integra de tres componentes encaminados al uso eficiente y sustentable del recurso hídrico. Rehabilitación y modernización de los Distritos de Riego, adquirir maquinaria y equipo para el Distrito de Riego como infraestructura hidráulica, y devolver suministro de agua en bloque para el mantenimiento de la infraestructura hidráulica.
- Programa de modernización y tecnificación de unidades de riego. Nace en 2009 como la fusión de dos programas anteriores para contribuir al mejoramiento de la

productividad del agua a través del uso eficiente, eficaz y sustentable del recurso en el riego en la agricultura, mediante apoyos a los usuarios para la modernización de la infraestructura hidroagrícola y la tecnificación de la superficie agrícola.

- Programa de adecuación de derechos de uso de agua. Busca la reducción del sobreconcesionamiento de agua en los distritos de riego mediante una compensación monetaria por m³, en pro de alcanzar niveles sustentables del uso hídrico.
- Mejora de eficiencia hídrica en áreas agrícolas. Se refiere a recursos destinados a asociaciones civiles de usuarios y sociedades de responsabilidad limitada de los distritos y unidades de riego para que cuenten con los requisitos necesarios a las reglas de operación de CONAGUA.
- Manejo integral del sistema hidrológico. Se destina al manejo sustentable en cantidad y calidad en cuencas y acuíferos, a través de propuestas y decretos sobre la disponibilidad del agua. Esto se plantea mediante tres procesos básicos: generar información con respecto a la cantidad y calidad del agua, elaborar balances hídricos por cuenca y acuífero, y difundir lo estipulado para su reglamentación.

Todos estos programas van encaminados a la sustentabilidad, mejor manejo, eficiencia, organización y cuidado sustentable de los recursos, y en específico del uso del agua. Estos programas se dirigen al usuario con la coordinación de las instituciones correspondientes.

En cuanto a las leyes que tienen injerencia en el tema, la Ley de Desarrollo Rural Sustentable (2001) en su artículo 27 apartado III y IV, establece que las entidades deben promover las regulaciones que vayan de acuerdo a la planeación federal y al desarrollo rural. Además de la difusión de los programas que se derivaron de la ley para la aplicación de los recursos hasta el beneficiario. Aunado, el apartado VIII estipula “la participación del gobierno de la entidad federativa en el desarrollo de infraestructura y el impulso a la organización de los productores para hacer más eficientes los procesos de producción, industrialización, servicios, acopio y comercialización que ellos desarrollen” (14). Además, a lo largo de la ley se estipula que es el gobierno federal el indicado de asignar las responsabilidades en los diferentes niveles, para definir los convenios en pro de las metas y objetivos estipulados. Dentro de estas obligaciones están el fomentar la tecnología, la

transferencia de conocimiento, apoyo en los procesos y la eficiencia en el desarrollo rural y agropecuario. De manera específica y clara, el artículo 36 en su apartado XV marca “facilitar la reconversión de cultivos, variedades forestales y especies animales que eleven los ingresos de las familias rurales, proporcionen ventajas competitivas y favorezcan la producción de alto valor agregado” (20). Esto significa que legalmente las instituciones están obligadas a proponer soluciones para una problemática de precio y comercialización del trigo, y a buscar opciones para la reconversión de cultivos que mejoren la economía del productor. Seguido, se menciona que debe propiciarse la información y criterios acerca de los recursos naturales, así como bases de indicadores al respecto, desarrollar las capacidades de los productores, fortalecer su autonomía, difundir el conocimiento y habilitar a los productores para el acceso y participación en créditos y financiamiento.

Este capítulo trató de la aplicación de la metodología y el desarrollo del análisis con los datos disponibles para la formación de resultados, en los que se evidencia la ineficiencia del uso del agua en el trigo en el CADER Delta del valle de Mexicali para el ciclo otoño-invierno de 2015. Estos resultados se sustentaron numéricamente en materia de volúmenes de agua y en ingreso bruto por cultivo para la comparación del trigo con otros. Además se plantearon algunas alternativas en materia agrícola para la problemática del cambio climático y reducción de suministro de agua, específicamente la reconversión de cultivos y/o programas para la tecnificación del riego.

CONCLUSIONES

El uso del agua en el trigo para el CADER Delta es ineficiente y no es rentable en términos económicos. El consumo hídrico del trigo necesario para su desarrollo no corresponde a la disponibilidad de agua que se cuenta en el CADER ni con los escenarios futuros previstos, por lo que es pertinente hacer modificaciones en la administración y aplicación de las políticas de consumo agrícola de agua. Los evidentes escenarios de reducción del agua advierten al productor agrícola y a las dependencias correspondientes el cambio que se aproxima, cambio que debe ir a la par de una modificación en las elecciones de los cultivos en la zona y su adecuada administración. El consumo hídrico necesario para continuar sembrando en la extensión y condiciones que hoy se realizan no son sostenibles, ante un cambio climático, por mínimo que sea, no es sostenible ni en un corto plazo ni en un mediano o largo plazo.

La presión que se ejerce al recurso hídrico es alta y preocupante, por lo cual es poco inteligente continuar con consumos de esa magnitud ante las proyecciones locales e internacionales en materia. La ineficiencia del uso del agua en el CADER va desde la forma en que se riega y la elección poco adecuada del cultivo, hasta la sustracción no controlada. A pesar de ser una planta resistente a las condiciones climáticas del entorno, sembrar trigo no es conveniente en las extensiones que actualmente se presentan para el CADER Delta, por su alto grado de consumo de agua, por los problemas de comercialización y por la recurrente baja de los precios en el mercado internacional.

El valle de Mexicali y todos los distritos de riego que lo integran dependen del suministro hídrico entre Estados Unidos y México, por lo que, un cambio en esta oferta hídrica afecta directamente a Mexicali y su valle. Las tendencias del cambio climático global y los pronósticos tanto de México como de Estados Unidos exponen una tendencia general a la baja. Las acciones y planeación con respecto al uso del agua deben ir encaminadas a la eficiencia, reorganización y reutilización de la misma, esto se traduce para el área agrícola del valle de Mexicali, en una reconversión de cultivos más adecuada, en mejores tecnologías de riego para el productor, y la búsqueda de nuevos mercados como el interno o el externo con cultivos de mayor valor agregado y mejor uso del agua. Así mismo, se requiere

participación de las instituciones públicas encargadas del área agrícola para la capacitación y apoyo al productor ante nuevos procesos productivos y una marcada política de no apoyo a la siembra excesiva de cultivos poco eficientes en el uso del recurso hídrico.

A pesar de que se estén realizando modificaciones legales e implementando programas por parte de las instituciones correspondientes desde 2013, entre un 60 y 80% del valle de Mexicali continua sembrando trigo, siendo el Centro de Apoyo al Desarrollo Rural Delta una pieza ejemplo de que hasta 2015, más del 90% del área sembrada fue destinada a este cultivo; por lo tanto, se necesita un acercamiento más notorio de las autoridades al productor agrícola y propuestas pragmáticas acerca de los mecanismos con los que los productores pueden hacerse llegar los incentivos. Legalmente se establece que debe haber coordinación para el cuidado de los recursos naturales y del productor, pero no se estipula específicamente de qué manera se van a llevar a cabo estos objetivos que se plantean a nivel federal. Es importante tener en cuenta que las razones por las cuales un productor no decide implementar una reconversión de cultivo pueden ser de otra índole, y no por que falten mecanismos o programas que apoyen al productor al cambio. Además, las leyes dan pie al manejo de ambigüedad pues, permiten al productor elegir el cultivo que más le parezca y desee desarrollar, pero al mismo tiempo el gobierno debe regularlos para que los esfuerzos se encaminen a los objetivos de desarrollo nacional, los cuales son evidentes en la reconversión productiva y la tecnificación y mejoramiento de la infraestructura.

Hay cultivos que proporcionan un mayor ingreso por hectárea, mejor rendimiento y menor consumo de agua, y es importante que el productor conozca esta información y se haga de apoyos que el gobierno pone al alcance, no solo para el medio ambiente, sino para el bienestar económico tanto del productor, como del Estado, que es quien año con año tiene que atender la problemática del precio, las toneladas producidas y las quejas de la comercialización del trigo. Dentro de los cultivos que se identificaron como los mejores en eficiencia y en ingreso para el CADER Delta en el periodo son: brócoli, cebolla, cebollín, col de Bruselas, lechuga, repollo. Cabe mencionar que estos cultivos son solo algunos que se recomiendan sembrar, pero no los únicos, pues hay una gran variedad de cultivos que pudiesen adaptarse a las condiciones que el entorno del valle de Mexicali ofrece, y si bien hay una gran historia en la siembra de trigo para Mexicali, también hay grandes

oportunidades de reconversión de cultivo que ayuden al medio ambiente y al ingreso monetario.

La ineficiencia en el uso del agua en el trigo en el CADER Delta, es una justificación para que las políticas en materia de planeación que se implementan sean llevadas a cabo de manera progresiva y quede claro que el bienestar del ambiente también contribuye al bienestar económico del productor y del Estado. Si la política de reconversión del cultivo de trigo a otro lleva casi 5 años, los esfuerzos deben verse reflejados en las cifras de siembra y el control de la autorización de los permisos de riego y de los apoyos a cultivos que no son adecuados para el ambiente, ni para el productor, ni para las instituciones encargadas del control de cultivos y productos agrícolas.

Si bien la reconversión de cultivos es una opción evidente para la mejora del productor y del cuidado del agua, los sistemas de tecnificación son otra vía que se suma al cambio que debe hacerse inmediatamente pues los recursos naturales no esperan, las sequías no pueden esperar a que el agricultor se decida a lograr un cambio de mentalidad o que las autoridades determinen ser rígidas en los permisos de riego para cierto cultivo que no es apto para el medio ambiente extremo de la zona.

Las nuevas oportunidades y futuras líneas de investigación que surgen se encaminan a un análisis general del valle de Mexicali y a un posible sistema homologado entre CADER's que brinde la eficiencia hídrica de cada cultivo para los productores y para las autoridades como SAGARPA o CONAGUA en la toma de decisiones para los permisos de riego y de siembra mediante el incentivo hacia los cultivos que sean favorables. Este análisis realizado a una escala mayor, podría ser una herramienta de las opciones más favorables para la selección del cultivo y a la disponibilidad de agua y mejora económica.

Es necesario que los sistemas utilizados para la siembra sean más estrictos en los permisos para el riego de los cultivos, en el sentido en que, si un cultivo está predestinado al mal uso hídrico y al mínimo rendimiento económico, no sea permitido en la región, o lo sea en el mínimo posible. Esto refleja el limitado control que las instituciones ejercen hacia el agricultor, al evidenciar que, a pesar de existir programas federales que incentivan una reconversión de cultivos, más de la mitad de la extensión territorial agrícola se destine al trigo. El trabajo conjunto entre las autoridades y el productor debe ir encaminado a la sinergia

y no a lineamientos coercitivos, sino a la promoción atractiva para el actor principal, y a las unidades en trabajo conjunto. La planeación debe ir un paso adelante de los hechos económicos y ambientales, las modificaciones necesarias en materia de uso de agua para la adaptación al cambio climático son requeridas inmediatamente y esto debe verse reflejado en la teoría y en la práctica de los actores en la agricultura, por es este sector el principal consumidor del recurso hídrico y el más oportuno para realizar cambios.

El cambio climático es actual y afecta a todos los sectores, por lo que los interesados deben ser el gobierno y los propios actores. El propio agricultor debe buscar las alternativas que le favorezcan para el mejor rendimiento, cuidado del agua y comercio, y el gobierno debe establecer lineamientos claros en lo que es permitido y no en cuanto a la siembra de cultivos y uso de agua en la región del CADER Delta y valle de Mexicali. La gestión debe modificarse a medida que las condiciones climáticas cambian, los actores deben tener la capacidad para que los lineamientos sean más flexibles ante el cambio climático y más firmes ante la contundente disminución del recurso hídrico. Si bien los lineamientos son emitidos desde el nivel federal, la aplicación de estas políticas deben contemplar las condiciones locales a fin de coincidir en los objetivos y en los procesos, es decir, si hay una orden de reconvertir cultivos como el trigo, deben considerarse que la historia de Mexicali surge con la agricultura de exportación y que son el Distrito 014 en Mexicali y otros Distritos en Sonora los más destacados en la producción de este cereal. Las estrategias que se acerquen al productor deben contemplar que desde hace décadas se siembra trigo y que es una tradición que puede ser en cierto momento un bloqueo cultural para el cambio. Es por tanto que instrumentos como la eficiencia del uso del agua en los cultivos es una herramienta que sitúa al productor en otra visión, y permite a las instituciones correspondientes motivar el cambio no solo por mandato federal, sino por resultados de datos locales.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, J. (2003) Tratado sobre distribución de aguas internacionales entre Estados Unidos Mexicanos y Estados Unidos de América. *Anuario Mexicano de Derecho Internacional*, (3) 543-583. Recuperado de <https://revistas.juridicas.unam.mx/index.php/derecho-internacional/article/view/84/136>

Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (2017). *Precios y productos*, México. Recuperado de <https://www.gob.mx/aserca>

Aguilar, A. (2004). Los asentamientos humanos y el cambio climático global, Martínez, J. y Fernandez, A. (Coord.). *Cambio climático: una visión desde México*, (523), 264- 278, México.

Aldaya, M. (2012). *Introducción a la evaluación de la huella hídrica*, 1-66, México.

Alegria, W. (2016). *Texto básico para profesional en ingeniería forestal en el área de fisiología vegetal*, 1-32, Perú.

Almaraz, A. (2007). El boom de las empresas extranjeras en el valle de Mexicali. *Frontera Norte*, 19 (37), 113-142, México.

Asistencia técnica agrícola (2017). El cultivo del repollo en zonas tropicales, México. Recuperado de http://www.agro-tecnologia-tropical.com/el_repollo.html

Ávila, G. (2013). Desarrollo rural en Costa Rica: cuatro décadas después. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, 22, 41-69, Costa Rica.

Banco Mundial (2016). *Agricultura y desarrollo rural*, recuperado de <http://datos.bancomundial.org/tema/agricultura-y-desarrollo-rural>

Barkley, A., Lanier, L. y Garay, P. (2011). Análisis de bienestar de los “shocks de precios de los commodities” en los mercados de maíz y trigo en México, en *Revista Mexicana de Agronegocios*, 29, 646-659, México.

Bates, B., Kundzewicz, Z., Wu, S. y Palutikof, J. (2008). *Climate Change and Water*. En *Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC Secretariat, 3-210, Geneva.

Bast, J. (2010). *Seven theories of climate change*, US: The Heartland Institute, 1-27, Chicago.

Benavides, S. (2008). Encadenamientos productivos y clusters: una estrategia para fortalecer las micro y pequeñas empresas del turismo rural, en *Revista Geográfica*, 42, 113-130, Costa Rica.

Blate, G., Joyce, L., Littell, J., McNulty, S., Millar, C., Moser, S., Neilson, R., O'Halloran, K., y Peterson, D. (2009). La adaptación a los efectos del cambio climático en los bosques nacionales de los Estados Unidos de América, en *Unasylva*, 60 (231/232), 57-62, Italia.

Bohórquez, E. (2006). *Política agrícola, de subsidios y ayudas internas en Estados Unidos, México y Brasil*, FENALCE, 1-112.

Boykoff, M. (2008). The cultural politics of climate change discourse in UK tabloids, en *Political Geography*, 27, UK.

Bracamonte, A. y Méndez, R. (2011). Subvenciones, reconversión e innovación productiva en la agricultura: el caso del trigo en Sonora, en *SciELO*, 26 (60), 307-313, México.

Calvente, A. (2007). El concepto moderno de sustentabilidad, en *UAIS*, 2-3, Argentina.

Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (2015). *Evolución de los precios del maíz, sorgo y trigo*, 1- 20, México.

Cohen, E. y Franco, R. (1992). *Evaluación de proyectos sociales*, Siglo XXI editores, 21-104, México.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2011). Agricultura y cambio climático: instituciones, políticas e innovación, en *Seminarios y Conferencias*, 13-33, Santiago.

Comisión Estatal del Agua (2016). *Programa hídrico del Estado de Baja California. Visión 2035*, 1-48, México.

Comisión Europea (2006). *El enfoque LEADER. Guía básica*, 3-23, Bélgica.

Comisión Europea (2014). *El enfoque LEADER. ¿De qué trata LEADER?*, 1.

Comisión Nacional del Agua (2016). *Planeación, programación y presupuesto*, Mexicali, México.

Comisión Nacional del Agua (2016). *Sistema Nacional de Información del Agua*, México. Recuperado de: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/>

Comisión Nacional del Agua (2015). *Cuidemos y valoremos el agua que mueve a México*, 1-14, México. Recuperado de: http://www.senado.gob.mx/comisiones/recursos_hidraulicos/foros/docs/220314_documento.pdf

Comisión Nacional del Agua (2015). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego, año agrícola 2013-2014*, 1-385, México.

Comisión Nacional del Agua (2014). *Estadísticas del Agua en México edición 2014*, 23-171, México.

Comisión Nacional del Agua (2013). *Estadísticas del agua en México, Edición 2013*, 1-176, México.

Comisión Nacional del Agua (2011). *Estadísticas del Agua en México*, 44, México.

Comisión Nacional del Agua (2010). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Año agrícola 2008-2009*, 323, México.

Comisión Nacional del Agua (2010). *Grado de presión sobre el recurso hídrico, por región hidrológico-administrativa*, México.

Comisión Internacional de Límites y Aguas (2016). Comisión internacional de límites y aguas entre México y los Estados Unidos sección mexicana boletín de prensa entregas de agua del río colorado a México en 2016 conforme al tratado de aguas internacionales del 3 de febrero de 1944, en *Boletín de prensa CILA*, México.

Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado (2013). *Apuntes de Población de Baja California*, 4, México.

Cortez, A. (2011). Gestión y manejo del agua: el papel de los usuarios agrícolas del valle de Mexicali, en *Revista Problemas de Desarrollo*, 167 (42), 71-90, México.

De la Torre, J. (2014). *Condiciones del marco físico, productivo y socioeconómico en el distrito de riego 014 Rio Colorado, B.C. y Sonora* (tesis de maestría), Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas, México.

Dell'Amico, J., Martín, R., Jeréz, E., Morales, D. y Plana, R. (2016). Respuesta fisiológica del trigo (*Triticum aestivum* L.) Cultivar INCA TH 4 al déficit hídrico, en *Cultivos tropicales*, 37 (3), Cuba.

Diario Oficial de la Federación (2012). *Ley de desarrollo rural sustentable*, 1-68, México.

Diario Oficial de la Federación (2001). *Ley de desarrollo rural sustentable*, 1-68, México.

Distrito de riego Río Colorado (2016). Recuperado de <http://distritoderiego.com.mx/historia.htm>

ECADERT (2015). *Desarrollo rural sustentable con enfoque sistémico y territorial*.

Elenes, R. (2009). *Aguas enturbiadas*, 9, México.

Ernst, O. y Bianculli, M. (2013). Rendimiento, fenología y uso de agua en intersiembra trigo-soja con relación a cultivos secuenciales y cultivo de cobertura-soja, en *Agrociencia*, 17, Uruguay.

FAO (2017). *Educación Ambiental para el Trópico de Cochabamba*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/009/ah645s/AH645S04.htm>

FAO (2016). *Glosario*, Sitio web AQUASTAT, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 1.

FAO (2015). *Inversiones en la agricultura*. Recuperado de <http://www.fao.org/investment-in-agriculture/es/>

FAO (2015). *Los suelos ayudan a combatir y adaptarse al cambio climático*. Recuperado de <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/340785/>

FAO (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*, 104, Chile.

FAO (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*, 25.

FAO (2013). *Tecnologías para el uso sostenible del agua. Una contribución a la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático*, 7-60, Tegucigalpa, Honduras.

FAO (2003). *Descubrir el potencial del agua para la agricultura*, 72, Roma, Italia.

FAO (2002). *Agua y cultivos. Logrando el uso óptimo del agua en la agricultura*, 1-22, Roma.

FAO (2002). *Cumbre sobre la alimentación*, 1. Recuperado de <http://www.fao.org/WorldFoodSummit/sideevents/papers/Y6899S.htm>

FAO (1989). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*, (22), 65, Roma.

Fernández, M. (2013). Estrés hídrico: sus efectos sobre el rendimiento de grano y la eficiencia de uso del agua de trigo pan (*Triticum aestivum* L.), trigo fideos (*Triticum durum* Desf.) Y triticale (x *Triticosecale*, Wittmack), en *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*, 23 (1), 1-20, Argentina.

Feuchter, F. (2000). Manual de transferencia tecnológica para adoptar la metodología del establecimiento y manejo agropecuario, biotecnología, propagación y uso sustentable de una pradera de zacate bermuda *Cynodon dactylon* (L.) Pers., Sonora, México.

Foladori, G. (2002). Avances y límites de la sustentabilidad social, en *Economía, sociedad y territorio*, 3 (12), Toluca, México.

Foladori, G. y Tommasino, H. (2000). El Enfoque Técnico y el Enfoque Social de la Sustentabilidad, en *Paranaense de Desenvolvimento*, (98), 68-69, Curitiba.

Fundación ABC para América Latina (2016). *Economía*, Alemania.

García, L. (2015). *Disponibilidad de agua para la zona Metropolitana de Mexicali, B.C., en escenarios regionales de cambio climático* (Tesis de Maestría), Mexicali, Baja California.

Gestión en Recursos Naturales (2016). *Plan medidas de mitigación, reparación y compensación ambiental*, 2, Chile.

Gleick, P., Cooley, H., y Groves, D. (2005). *California water 2030: an efficient future*, Oakland, Estados Unidos.

Gobierno de Baja California (2016). *Edafología*, 1. Recuperado de http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/recursos/edafologia.jsp

Gobierno de la República. (2013). *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*, 1-184, México.

González-Pérez, B., López-González, E., y Mendaña-Cuerdo, C. (2010). La eficiencia de la rama de ciencias sociales de las universidades públicas españolas, en *Regional and Sectoral Economic Studies*, 10 (3), 118, España.

Green, N. y MacQuarrie, K. (2014). An evaluation of the relative importance of the effects of climate change and groundwater extraction on seawater intrusion in coastal aquifers in Atlantic Canada, en *Hydrogeology Journal*, 22, Alemania.

GREENPEACE (2012). *La agricultura mexicana y el cambio climático*, 1-31, México.

Grijalva, A. (2014). Agroindustria y algodón en el valle de Mexicali. La Compañía Industrial Jabonera del Pacífico, en *Estudios Fronterizos*, 15 (30), 14, México.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (1997). *Informe especial del IPCC. Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad*, 1.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (1995). *IPCC – Segunda evaluación Cambio Climático 1995*, 30.

Herron, C. (2013). *Agua y Cambio Climático en México 2007-2012: Análisis y Recomendaciones a Futuro*, 72, México. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/AyCCMex2007-2012.pdf>

Hoekstra, A. (2017). *The water footprint of humanity*, 1-44.

Hoekstra, A. y Mekonnen, M. (2012). *The water footprint of humanity*, 109 (9), 3232-3237, Holanda.

INFOAGRO (2017). *El cultivo de la palmera datilera*, 1. Recuperado de http://www.infoagro.com/flores/plantas_ornamentales/palmera_datilera.htm

Instituto de Estudios Legislativos (2015). *El agua en Baja California*, Baja California.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2012). Impacto del cambio climático en la agricultura, en Nota técnica 03-12, 1-3, Costa Rica.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016). *México en cifras*, México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015). *Censos Económicos 2014. Sistema Automatizado de Información Censal*, México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014). *Participación por actividad económica, en valores corrientes, 2014*, México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014). *Recursos naturales*, 1, México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2013). *Conociendo Baja California*, México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Mexicali, Baja California*, México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2007). *VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007*, México.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (2012). *Cultivo de palma datilera en el valle de Mexicali*, B. C., Baja California, México.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (2008). *Necesidades hídricas de los principales cultivos en el Estado de Baja California*, 5-6, Mexicali.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2017). *Estudio de Plan de Manejo Integrado del Acuífero Valle de Mexicali, Baja California*, y *Plan de Manejo Integrado del Acuífero Valle de San Luis Río Colorado, Baja California y Sonora*, México.

IPACC (2013). *Nota técnica 1. La adaptación al cambio climático y la gestión del riesgo: reflexiones e implicaciones*, 1-24, Perú.

IPCC (2012). *Gestión de riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático*, 1-20.

Janvry, A. y Soudoulet, E. (2004). Hacia un enfoque territorial del desarrollo rural, en *Foro temático regional de América Latina y el Caribe*, 1-21, Costa Rica.

- Jensen, M., Burman, R. y Allen, R. (1990). Evaporation, Evapotranspiration, and Irrigation Water Requirements, en *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice* (70).
- Juarez, P., Bojorquez, J. y Soto, E. (2011). Cambio climático y su efecto en la agricultura del futuro, en *Hortalizas*, 1-6, México.
- Klaus Eisenack & Rebecca Stecker, (2010). An Action Theory of Adaptation to Climate Change, en *Conference on the Human Dimensions on Global Environmental Change*, Alemania.
- Krugman, P., Wells, R., y Olney, M. (2011). *Introducción a la economía*. Ed. Reverté, Costa Rica.
- Labrador, J., y Alteri, M. (1994). *Manejo y diseño de sistemas agrícolas sustentables*, 5-7, Madrid.
- Larrea, D. y Sosa, B. (2014). La tecnificación de la agricultura familiar bajo riego en Ecuador, en *Foro de los recursos hídricos*, Quito, Ecuador.
- Larsen, R., Swartling, A., Powell, N., May, B., Plummer, R., Simonsson, L. y Osbeck, M. (2012). A framework for facilitating dialogue between policy planners and local climate change adaptation professionals: Cases from Sweden, Canada and Indonesia, en *Environmental Science and Policy*, 23.
- Lavados, H., Massad, C. y Berríos, R. (2016). *Introducción al análisis económico*, México.
- Leporati, M., Salcedo, S., Jara, B., Boero, V., y Muñoz, M. (2014). La agricultura familiar en cifras, en *FAO. Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de Política*, Chile.
- Lobell, D., Schlenker, W., y Costa-Roberts, J. (2011). Climate Trends and Global Crop Production Since 1980, en *Science*, 333, 616–620.
- López, F. (9 de septiembre de 2016). La mala planeación del trigo nacional. *La silla rota*, México.
- Luna-Flores, W., Estrada-Medina, H., Jiménez-Osornio, J., Pinzón-López, L. (2012). Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias, en *Tierra Latinoamericana*, 30, 343-353, México.
- Macedo, B. (2005). El concepto de sostenibilidad, en *UNESCO*, 57-59, Santiago.
- Maheshwari, B., Simmons, B. y Singh, V. (2012). Role and Complexity of Integrated Water-Resources Management for Periurban Landscapes in Australia, in *Journal of Hydrologic Engineering*, 229-237, Australia.

- Martínez, J. (2017). *Aspectos de suelos en la producción de hortalizas*, Nuevo León, 1-8, México.
- Martínez, A. (2002). *Labranza de conservación. Un sistema de producción sustentable*, 1-24, México.
- Matarrita, R. (2005). Encadenamiento y exportaciones, en *Undécimo Informe sobre el Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*, 2-13, Costa Rica.
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Carbó, M. y Gulías, J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas, en *Investigaciones Geográficas* (43), Alicante, España.
- Meixner, T., Manning, A., Stonestrom, D., Allen, D., Ajami, H., Blash, K., Brookfield, A., Castro, C., Clark, J., Gochis, D., Flint, A., Neff, K., Niraula, R., Rodell, M., Scanlon, B., Singha, K., Walvoord, M. (2016). Implications of projected climate change for groundwater recharge in the western United States, in *Journal of Hydrology*, 534.
- Mekonnen, M. y Hoekstra, A. (2010). A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat, en *Hydrology and Earth System Sciences*, 1259-1276, Holanda.
- Mercados agrícolas (2011). Análisis de los mercados nacionales de productos agrícolas básicos, 1-32, México.
- Meza, L. (2014). La agricultura familiar y el cambio climático, en FAO. *Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de Política*, 84, Chile.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2016). *Módulo ambiental para el sector agrario*, España.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (2017). *Repollo*, 5, Costa Rica. Recuperado de http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-repollo.pdf
- Mokate, K. (2002). Eficacia, eficiencia, equidad y sostenibilidad: ¿qué queremos decir?, en *Diseño y gerencia de políticas y programas sociales*, INDES, 5-6.
- Molden, D., Sakthivadivel, R. y Habib, Z. (2001). *Basin-level use and productivity of water: Examples from South Asia*. Research Report 49, International Water Management Institute (IWMI), 2-12, Colombo, Sri Lanka.
- Moreno, J. y López, M. (2005). Desarrollo agrícola y uso de agroquímicos en el Valle de Mexicali, en *Estudios Fronterizos*. 6 (12), 119-153, México.
- Mueño, F. (2015). ¿Se aproxima el 'boom' de la energía solar?, en *Forbes*, 1. Recuperado de <http://www.forbes.com.mx/se-aproxima-el-boom-de-la-energia-solar/>

Nelson, G.; Rosegrant, M.; Palazzo, A.; Gray, I.; Ingersoll, C.; Robertson, R.; Tokgoz, S.; Zhu, T.; Sulser, T.; Ringler, C.; Msangi, S., y You, L. (2010). *Food security, farming, and climate change to 2050: scenarios, results, policy options*, Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI), 1-100, Washington, USA.

Nelson, G., Rosegrant, M., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., ValmonteSantos, R., Ewing, M., y Lee, D. (2009). *Cambio climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*, Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI), 1-15, Washington, USA.

Olesen, J. y Bindi, M. (2002). Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy, en *European Journal of Agronomy*, 16.

Olesen, J., Trnka, M., b, Kersebaumc, K., Skjelvåg, A., Seguin, B., Peltonen-Sainiof, P., Rossi, F., Kozyra, J., Micalei, F. (2011). Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change, en *European Journal of Agronomy*, 34.

Organización de las Naciones Unidas (2016). Principios para la inversión agrícola responsable, en *Conferencia de comercio y desarrollo de Naciones Unidas (UNCTAD)*, 1. Recuperado de <http://unctad.org/en/Pages/DIAE/G-20/PRAI.aspx>

Organización de las Naciones Unidas (2015). *Agua y Desarrollo Sostenible. Nota informativa*, Programa de ONU-Agua para la Promoción y la Comunicación en el marco del Decenio (UNW-DPAC).

Organización de las Naciones Unidas (2001). *Agricultura, tierras y desertificación*, 2.

Organización de las Naciones Unidas (2000). *Agroecología. Teoría y práctica de una agricultura sustentable*, 2-43, México.

Organización de las Naciones Unidas (1992). *Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*.

Organización de las Naciones Unidas (1992). Fomento de la agricultura y del desarrollo rural sostenible, en *Agenda 21*, 3, Brasil. Recuperado de <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>

Organización Meteorológica Mundial (2008). *El cambio climático y el agua*, 13-147. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/climate-change-water-sp.pdf>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2006). *Agricultura y Agua: Sostenibilidad, Mercados y Políticas. Conclusiones y recomendaciones*, 3-12.

O'Riordan, T. y Jordan A. (1998). Institutions, climate change and cultural theory: towards a common analytical framework, en *Global Environmental Change*, 9, UK.

Orozco, C. (2014). *Rendimiento de trigo cristalino (Triticum durum) en el valle de Mexicali, en función de la aplicación de nitrógeno y métodos de siembra* (tesis de doctorado), Mexicali, México.

Osorio, G. (2008). Agricultura sustentable. Una alternativa de alto rendimiento, en *Redalyc*, XI (001), 77, México.

Porter, M. (1998). Clusters and the new economics of competition, en *Harvard Business Review*, 1-26.

Quadri de la Torre, G. (1999). Eficiencia y uso sustentable del agua en México, en *Comercio Exterior*, 49 (4), 339, México.

Quintas, I. (2011). El cambio climático y el caso del agua en México, Novelo F. (Coord.), *La UAM ante la sucesión presidencial: Propuestas de política económica y social para el nuevo gobierno*, México: Universidad Autónoma Metropolitana y MC Editores.

Ray, D., De La Torre, D. y Tiller, K. (2003). Reconsiderando la Política Agrícola de los Estados Unidos: Cambio de Rumbo para Asegurar el Sustento de los Agricultores a Nivel Mundial, en *Agricultural Policy Analysis Center*, Estados Unidos.

Real Academia Española (2014). *Diccionario de la lengua española*, 1, España.

Red Agropecuaria Web (2015). *Cierre anual 2015*, Baja California.

Ríos, J., Torres, M., Ruiz, J. y Torres M. (2016). Eficiencia y productividad del agua de riego en trigo (*Triticum vulgare*) de Ensenada y Valle de Mexicali, Baja California, México, en *Acta Universitaria*, 26 (1), 21-23, México.

Rodríguez, A. (2016). *Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones de ingeniería*, UNAM, 20, México.

Rozenstein, M. (1984). Productividad, eficacia y eficiencia en la empresa pública, en *Biblioteca Jurídica del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM*, (59/60), 341, México,.

Ruiz, J., Medina G., González, I, Flores H., Ramírez, G., Ortiz, C., Byerly, K., y Martínez, R. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, 1-564, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

Sánchez, G. (2010). Recursos hídricos y cambio climático, en Greenpeace (Eds.). *México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación*, 26-29. Recuperado de <http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2010/6/vulnerabilidad-mexico.pdf>

Santos, L., De Juan, J., Picornell, M., y Tarjuelo, J. (2010). El riego y sus tecnologías, CREA-UCLM, 5-296, Portugal, España.

Salcedo, S., De la O, A., y Guzmán, L. (2014). El concepto de agricultura familiar en América Latina y el Caribe, en FAO. *Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de Política*, 17-34, Chile.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017). *Módulos de riego*, Mexicali, México.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017). *Programa de Fomento a la Agricultura 2017*, México.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017). Apuestan productores a la Reconversión de cultivos en el Valle de Mexicali: GAH, en *Boletín de Prensa*, México.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2016). Continuará SAGARPA impulsando la reconversión de cultivos en el valle de Mexicali durante el 2015, en *Boletín de Prensa*, México.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2016). *Estadística*, México.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2016). *Distrito de desarrollo rural 002, Río Colorado. CADER Delta*, Mexicali, México.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2016). *¿Qué es la reconversión de cultivos?*, México.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2014). *Programa sectorial de desarrollo agropecuario, pesquero y alimentario 2013-2018*, México.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2012). Proyecto estratégico para la recuperación de la capacidad productiva de suelos de uso agrícola del valle de Mexicali, 5-6, Baja California, Mexicali.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2011). *Descripción de las variedades de trigo para el valle de Mexicali, B.C. y norte de Sonora*, 4-15, México.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2010). *Diagnóstico Sectorial Baja California*, 1-163, Baja California, México.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2010). *Guía para producir trigo en los valles de Mexicali, B.C. y San Luis Río Colorado, Sonora*, 4-24, Mexicali.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2016). *Glosario ambiental*, Argentina.

Secretaría de Desarrollo Social (2012). *Catálogo. Sistema Urbano Nacional 2012*, 9-34, México.

- Secretaría de Desarrollo Social (2012). *La expansión de las ciudades 1980-2010*. México.
- Secretaría de Fomento Agropecuario (2016). *Nuestro Campo*, México. Recuperado de <http://www.sefoa.gob.mx/>
- Secretaría de Fomento Agropecuario (2013). *Serie histórica de producción trigo grano. Valle de Mexicali*, México. Recuperado de <http://www.oeidrus-bc.gob.mx>
- Secretaría de Gobernación (2009). *Norma NOM-117-SEMARNAT-2006*, 27-33, México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2013). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales indicadores clave y de desempeño ambiental. Edición 2013*, México.
- Secretaría de Protección al Ambiente (2012). *Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Baja California*, 117-128, Baja California, México.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2016). ¿Agricultura? ¿Eso con qué se come?, México. Recuperado de <http://www.siap.gob.mx/siaprendes/contenidos/2/01-agricultura/contexto-1.html>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2015). *Baja California. Infografía agroalimentaria 2015*, México.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2014). *Estadística*, México.
- SGR (2015). *Criterios Generales de Política Económica para la Iniciativa de Ley de Ingresos y el Proyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación Correspondientes al Ejercicio Fiscal 2015*, 8-199, México.
- Shove, E. (2010). Social Theory and Climate Change Questions Often, Sometimes and Not Yet Asked, en *Theory, Culture & Society*, 27.
- TECNOAGRO (2011). Zacate rye grass anual o ballico italiano, en revista *TECNOAGRO*, (67). Recuperado de <https://tecnoagro.com.mx/revista/2011/no-67/zacate-rye-grass-anual-o-ballico-italiano/>
- Tejeda A., Castillo N. y García-Cueto R. (2010). Impactos urbanos: ondas de calor en tres ciudades de México. En *México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación*, GREEN PEACE, 34-39, México.
- Tenorio, J. y Pérez, M. (2000). El éxito empresarial. Sus niveles de análisis y formas alternativas para su evaluación, en *Revista CEPADE*, (21), 189.

Tommasino, H., Foladori, G. y Taks, J. (2001). *La crisis ambiental contemporánea*. Recuperado de <http://www.universidadur.edu.uy/retema/archivos/Sustentabilidad.pdf>

Unión Europea (2016). *La actividad económica. Conocemos a los países por sus sectores productivos*, 6-7, España.

Unión Europea (2012). *Una agricultura sostenible para el futuro que queremos*, 1-8.

Unión Europea (2006). *El enfoque Leader*, 3-24, Bélgica.

UNEP (2014). Eficiencia en el uso del agua y la energía. Nota informativa, en *Conferencia Anual 2014 de ONU Agua en Zaragoza. Preparando el Día Mundial del Agua 2014 Alianzas para mejorar el acceso, la eficiencia y la sostenibilidad del agua y la energía*, 1-7.

UNESCO (2017). Good wáter, wáter to “eat”. What is virtual water?, en *Drops of water 4*.

Vanderheiden, S. (2008). *Political Theory and Global Climate Change*, MIT, Inglaterra.

Villar, J. (2010). Estimación de rendimientos de trigo a partir del agua almacenada en el centro de Santa Fe, en *Para mejorar la producción*, 43, Argentina.

Water Footprint Networks (2017). *Product Water Footprint*. Recuperado de <http://waterfootprint.org/en/water-footprint/product-water-footprint/>

Yohe, G. y Lasco, R. (2005). *Perspectives on climate change and sustainability*, 812-841.

Zinck, J., Berroterán, J., Farshad, A., Moameni, A., Wokabi, S., Van Ranst, E. (2005) La sustentabilidad agrícola: un análisis jerárquico, en *Gaceta Ecológica*, (76), julio-septiembre, 53-72, México.

Zizumbo, R., Rojas, R., y Espinoza, A. (2013). El paradigma del desarrollo rural sustentable versus las políticas del medio rural centralizadas en México: el caso de Comala, Colima, en *International Conference Virtual City and Territory - 9° Congresso Città e Territorio Virtuale*, Roma.