



UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

“CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN DE LA COSTA DE HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO; Y SU EFECTO EN EL ACUÍFERO; ANÁLISIS DE SU IMPACTO UTILIZANDO EL CULTIVO DE LA VID (*VITIS VINÍFERA*)”.

TESIS

Que para obtener el Grado de:
Maestro en Ciencias-Geología.



PRESENTA:

GUADALUPE JOSEFINA FIGUEROA MONTES

Hermosillo, Sonora, Marzo de 2018

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología
División de Ciencias Exactas y Naturales

F01

Hermosillo, Sonora, a 12 de Febrero de 2017

Dr. Jesús Vidal Solano
Coordinador de Programa
Maestría en Ciencias-Geología
Departamento de Geología

Por este conducto y de la manera más atenta, me permito someter a su consideración, para su aprobación el siguiente tema de tesis, intitulado:

"CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN DE LA COSTA DE HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO; Y SU EFECTO EN EL ACUÍFERO; ANÁLISIS DE SU IMPACTO UTILIZANDO EL CULTIVO DE LA VID (*VITIS VINÍFERA*)".

Esto es con el fin de que la alumna: **Guadalupe Josefina Figueroa Montes**, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Grado de la Maestría en Ciencias-Geología.

Sin otro en particular quedamos de Usted.

ATENTAMENTE



Dr. Miguel Rangel Medina

Director de Tesis

C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo



El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

División de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Geología

Hermsillo, Sonora a 07 de marzo de 2018

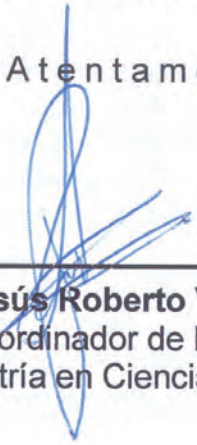
Dr. Miguel Rangel Medina
Director de Tesis

Por este conducto y en atención a la solicitud recibida el día de hoy, 07 de marzo del presente, le comunico que ha sido aprobada la fecha para la presentación de Examen de Grado de la alumna **GUADALUPE JOSEFINA FIGUEROA MONTES** propuesta por el Comité de Tesis.

Dicho examen se llevará a cabo el día **jueves 8 de marzo del presente a las 17:00 horas** en el *Auditorio del Departamento de Investigación en Física (DIFUS)*.

Sin otro en particular quedo de Usted

Atentamente



Dr. Jesús Roberto Vidal Solano
Coordinador de Programa
Maestría en Ciencias-Geología

C.c.p. Archivo



El saber de mis hijos
hará mi grandeza
**MAESTRIA EN
CIENCIAS
GEOLOGIA
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA**



UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Geología

"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

NOMBRE DE LA TESIS:

"CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN DE LA COSTA DE HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO; Y SU EFECTO EN EL ACUÍFERO; ANÁLISIS DE SU IMPACTO UTILIZANDO EL CULTIVO DE LA VID (VITIS VINÍFERA)"

NOMBRE DE LA SUSTENTANTE:

GUADALUPE JOSEFINA FIGUEROA MONTES

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Grado en la Universidad de Sonora.

Dr. Francisco Javier Grijalva Noriega

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Grado en la Universidad de Sonora.

Dr. Rogelio Monreal Saavedra

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Grado en la Universidad de Sonora.

M.C. José Arturo López Ibarra

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Grado en la Universidad de Sonora.

Dr. Miguel Rangel Medina

Atentamente

Dr. Jesús Roberto Vidal Solano
Coordinador de Programa
Maestría en Ciencias-Geología



El saber de mis hijos
hará mi grandeza
**MAESTRIA EN
CIENCIAS
GEOLOGIA
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA**



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Geología

F07

Hermosillo, Sonora, a 6 de Marzo de 2018

Dr. Jesús Vidal Solano
Coordinador de Programa
Maestría en Ciencias-Geología
Departamento de Geología


Por medio de la presente, nos permitimos informarle que después de revisar y aprobar el trabajo de tesis de la alumna **GUADALUPE JOSEFINA FIGUEROA MONTES**, hemos acordado que la presentación del examen de grado del alumno se lleve a cabo el día jueves 8 de Marzo del presente a las 17:00 horas.

Sin otro particular, quedamos a la espera de su respuesta.


ATENTAMENTE
Comité de Tesis



Dr. Francisco Javier Grijalva



Dr. Rogelio Monreal Saavedra



Dr. Miguel Rangel Medina
Director de Tesis



M.C. José Arturo López Ibarra

C.c.p. Archivo





UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Geología

“CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN DE LA COSTA DE HERMOSILLO SONORA MÉXICO; Y SU EFECTO EN EL ACUÍFERO; ANÁLISIS DE SU IMPACTO UTILIZANDO EL CULTIVO DE LA VID (*VITIS VINÍFERA*)”.

TESIS

**Que para obtener el grado de:
Maestro en Ciencias-Geología.**

PRESENTA:

GUADALUPE JOSEFINA FIGUEROA MONTES



Hermosillo, Sonora, Febrero de 2018

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) por el apoyo brindado para llevar a cabo mis estudios de Maestría del 1/08/2015 al 31/07/2017 con número de CVU: 489434, gracias por haber hecho posible este gran logro en mi vida personal como profesional.

A la **Universidad de Sonora en especial al Departamento de Geología**; al personal directivo y académico, por su atención y amabilidad durante el tiempo como alumna de la maestría en ciencias-geología, gracias por la oportunidad.

Gracias a mis **maestros** que fueron claves en mi vida profesional, por compartir sus conocimientos, por motivar mi formación profesional en especial al **Dr. Jesús Roberto Vidal Solano**, por su apoyo brindado para terminar satisfactoriamente el estudio, a la **Dra. Diana Meza Figueroa** por su apoyo y disposición.

Agradezco también de forma especial al **Dr. Julio Cesar Rodríguez**, por su tiempo, ideas y motivación para la culminación satisfactoria del presente trabajo. Al **Dr. Carlos Lizárraga** por la contribución y opiniones para la realización de este trabajo. Al **Ing. Gilberto Lagarda** del departamento de meteorología de la CONAGUA por la información brindada.

A mis **compañeros** de clase y amigos, que compartimos varias experiencias durante la trayectoria de nuestros estudios.

A todo mi comité de tesis:

- Al **Dr. Francisco Javier Grijalva** y el **Dr. Rogelio Monreal Saavedra**, por sus sugerencias, revisión, gran apoyo y ayuda en general para la culminación de esta Tesis.
- Al **M.C. José Arturo López Ibarra**, por su grande aportación necesaria para la grata finalización de este estudio.
- Especialmente a mi director de Tesis, el **Dr. Miguel Rangel Medina**, quien desde el principio me brindó su apoyo y confianza; por su disposición, tutoría, sugerencias y dirección en esta humilde obra.

A **Dios** le agradezco por la vida, por la salud, mi familia y por darme la fortaleza para iniciar y finalizar esta etapa importante que me hizo crecer en forma profesional así como personal.

A mi amado esposo **Luis Carlos** y **hermosas hijas Carly Elizabeth & Carlet Monserrat** por su gran amor, por ser mi fuerza y apoyo incondicional cada día, gracias por los maravillosos momentos felices que hemos vivido juntos, por ser mi compañía y por ser la motivación para seguir adelante, sin su apoyo no lo hubiera logrado, muchas gracias!!

A mis padres **Gerardo Figueroa Manzo & Arminda Montes Ficher** por su apoyo y tiempo que me dedicaron durante mi vida de estudiante, gracias por su gran esfuerzo, por sus ejemplos, pero sobre todo, por su amor sin pedir nada a cambio. A mis hermanos **Gerardo Rosendo, José Manuel & Josselin Monserrat** que de alguna u otra forma me apoyaron e hicieron compañía durante mi vida de estudiante.

A mi familia política, **Lourdes Barrios & José Luis Méndez** y cuñados **Sara Lourdes & José Eduardo**, por su apoyo incondicional principalmente cuidando a mis pequeñas durante la realización de mis estudios en la Universidad de Sonora.

A todos, muchas gracias!!

DEDICATORIA

*Dedico este trabajo principalmente a **Dios**, por permitirme realizar y culminar uno más de mis proyectos al lado de mi familia que fueron pieza clave en este proceso, A mi amado esposo **Luis Carlos** quien me apoyo y estuvo a mi lado de principio a fin para que yo culminara dicho trabajo, a mis hermosas hijas **Carly & Carlet** que con su amor y travesuras alegran mi vida. Los AMO !!*

Este logro es por ustedes y para ustedes!!

RESUMEN

El informe más reciente sobre riesgo climático, denominado Global Risks 2014, publicado por el Foro Económico Mundial (WEF por sus siglas en inglés), catalogó el cambio climático (CC) como un riesgo geológico ambiental que ocupa el segundo lugar entre los riesgos mundiales de mayor impacto potencial en la presente década. Este fenómeno se encuentra asociado a diferencia de la variabilidad climática con la actividad antropogénica, principalmente en lo que respecta a las emisiones de gases efecto invernadero (GEI). El CC global actual se manifiesta en el sistema hidrológico superficial y subterráneo a través del incremento de la temperatura, los cambios en la precipitación (tanto en intensidad como en su distribución temporal y espacial), la intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, el deshielo de los glaciares y el incremento del nivel del mar, entre otros. En México, según información de Semarnat (2016), el CC posiblemente puede impactar sistemas y sectores estratégicos como son: el agrícola, hídrico, costero, afectar ecosistemas, biodiversidad e infraestructura, generar tormentas y clima severo. En este marco, el propósito del presente estudio, fue reconocer si el CC se ha manifestado en la región de la Costa de Hermosillo, Sonora, México analizando factores climáticos que puedan mostrar y demostrar ese impacto en la agricultura, utilizando las temperaturas (principal evidencia del CC conocido como “calentamiento global”) y si el aumento del fenómeno meteorológico se hizo evidente en los periodos de análisis y/o si llegó a alcanzar durante su vida productiva, el máximo impacto de sequía extrema. En el aspecto productivo; conocer si esos efectos sobre el medio hídrico han provocado alteraciones en los procesos y fases fenológicas del cultivo de la vid (*Vitis vinífera*) y la evapotranspiración de referencia (ET_o). La estrategia metodológica se enfocó en la revisión histórica de cada posible afectación en campo con los productores y en la obtención de datos de temperaturas para el periodo (1980 – 2016) utilizando el modelo Daymate desarrollado por el Dr. Peter Thornton. Este modelo es una colección de algoritmos y software de computadora diseñados para interpolar y extrapolar observaciones meteorológicas diarias para producir estimaciones cuadrículadas de parámetros climáticos como las temperaturas máximas y mínimas en una superficie cuadrículada de 1 km x 1 km. También se obtuvieron datos de precipitación para el periodo

(1974 – 2015) por medio de las estaciones meteorológicas de la CONAGUA (Hermosillo Norte, Bahía de Kino, María del Carmen, Palo Verde y San Isidro). Para la estimación de sus datos faltantes, se utilizó el método estadístico de ponderación de distancia inversa IDW según ASCE (1996) que propone la guía de prácticas climatológicas de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1983); también, se utilizó el Método del Coeficiente de Correlación Lineal, método efectivo cuando existe una relación entre dos (o más) variables, y se desea expresar esta relación en forma matemática determinando una ecuación que relacione las variables (Murray R. *et al.*, 2000). Con el fin de asignar un área de influencia a cada estación meteorológica se utilizó el método del polígono Thiessen. Para la elaboración del polígono se usó el programa ArcGis el cual comprende una serie de aplicaciones, que utilizadas en conjunto, permiten realizar funciones que alimentan y administran un sistema de información geográfica (SIG), desde la creación de mapas, manejo y análisis de información, edición de datos, metadatos y publicación de mapas en la Internet. Por último para evaluar el comportamiento de las precipitaciones se utilizó el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI por sus siglas en inglés). Este índice creado por McKee en 1993 destaca por la sencillez, facilidad de cálculo y su significado desde el punto de vista estadístico; calculándose ajustando la distribución de frecuencia de la precipitación con una función teórica de densidad de probabilidad (McKee *et al.*, 1993). Por medio de los resultados se confirmó la manifestación del CC en la región de la Costa de Hermosillo debido al aumento de las temperaturas y a la prolongación e intensificación del fenómeno de la sequía. En consecuencia se encontró que la ETo presenta un aumento significativo y los procesos (acumulación de frío y fotosíntesis) así como las fases fenológicas (brotación, floración, envero, maduración y cosecha) mostraron un efecto negativo (con excepción de la fase de floración) ya que los rangos de temperatura óptimos para los mismos están decreciendo, mientras que los rangos de temperatura fuera de lo óptimo van en aumento.

Palabras clave: Cambio Climático, Acuífero Costa de Hermosillo, Impactos hidroambientales en Vid

ABSTRACT

The most recent report on climate risk, called Global Risks 2014, published by the World Economic Forum (WEF), cataloged climate change (CC) as a geological environmental risk that ranks second among the global risks of climate change. greatest potential impact in the current decade. This phenomenon is associated, unlike climatic variability with anthropogenic activity, mainly with regard to greenhouse gas (GHG) emissions. The current global CC is manifested in the surface and underground hydrological system through the increase of temperature, changes in precipitation (both in intensity and in its temporal and spatial distribution), the intensity of extreme hydrometeorological phenomena, the melting of the glaciers and the increase in sea level, among others. In Mexico, according to information from Semarnat (2016), the CC can possibly impact strategic systems and sectors such as: agricultural, water, coastal, generate storms and severe climate, affect ecosystems, biodiversity, and infrastructure. In this framework, the purpose of this study was to recognize if the CC has manifested in the region of the Coast of Hermosillo, Sonora, Mexico analyzing climatic factors that can show and demonstrate this impact in the agriculture of the Hermosillo Coast, using the temperatures (main evidence of the CC better known as "global warming") and if the increase of the meteorological phenomenon became evident in the periods of analysis and / or if it reached during its productive life, the maximum impact of extreme drought. In the productive aspect; know if these effects on the water environment have caused alterations in the processes and phenological phases of vine cultivation (*Vitis vinifera*) and reference evapotranspiration (ET_o). The methodological strategy focused on the historical review of each possible affectation in the field with the producers and in obtaining temperature data for the period (1980 - 2016) using the Daymate model developed by Dr. Peter Thornton. This model is a collection of algorithms and computer software designed to interpolate and extrapolate from daily meteorological observations to produce gridded estimates of daily climatic parameters such as maximum and minimum temperatures on a grid area of 1 km x 1 km. Precipitation data were also obtained for the period (1974 - 2015) through the meteorological stations of the CONAGUA (Hermosillo Norte, Bahía de Kino, María del Carmen, Palo Verde and San Isidro). For the estimation of their missing data,

the statistical method of inverse distance weighting IDW according to ASCE (1996) was used, which proposes the climatological practices guide of the World Meteorological Organization (WMO, 1983); Also, the Linear Correlation Coefficient Method was used, an effective method when there is a relationship between two (or more) variables, and we want to express this relationship in mathematical form by determining an equation that relates the variables (Murray R. *et al.*, 2000). In order to assign an area of influence to each meteorological station, the Thiessen polygon method was used. For the elaboration of the polygon, the ArcGis program was used, which includes a series of applications that, used together, allow to perform functions that feed and manage a geographic information system (GIS), from the creation of maps, management and analysis of information , editing of data, metadata and publication of maps on the Internet. Finally, to evaluate the behavior of rainfall, the Standardized Precipitation Index (SPI) was used. This index created by McKee in 1993 stands out for the simplicity, ease of calculation and its significance from the statistical point of view; calculated by adjusting the frequency distribution of the precipitation with a theoretical function of probability density (Mckee *et al.*, 1993). By means of the results, the CC manifestation in the Hermosillo Coast region was confirmed due to the increase in temperatures and the prolongation and intensification of the drought phenomenon. As a result, it was found that the ETo presents a significant increase and the processes (accumulation of cold and photosynthesis) as well as the phenological phases (sprouting, flowering, veraison, maturation and harvest) showed a negative effect (with the exception of the flowering phase) since the optimal temperature ranges for them are decreasing, while the temperature ranges outside the optimum are increasing.

Keywords: Climate change, Hermosillo Coast Aquifer, Hydro-environmental impacts in Vine

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general.....	3
1.2. Objetivos específicos	3
1.3. Hipótesis	4
1.4. Justificación	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1. Aspectos generales del clima.....	7
2.1.1. El sistema climático	7
2.1.1.1. La atmósfera e hidrósfera.....	7
2.1.2.1. Evidencias y consecuencias del Cambio Climático.....	10
2.1.2.1.1. Situación Global.....	11
2.1.2.1.2. Situación Nacional.....	14
2.2. La Costa de Hermosillo	20
2.2.1. Generalidades.....	20
2.2.2. Consecuencias del Cambio Climático en la región de la Costa de Hermosillo ..	21
III. ESTRATEGIA METODOLÓGICA	23
3.1. Área de estudio	23
3.2. Métodos.....	24
3.2.1. Comportamiento de la temperatura.....	25
3.2.1.1. Modelo Daymate.....	26
3.2.1.1.1. Herramienta de extracción de un solo pixel.....	27
3.2.1.2. Ordenamiento de datos Daymate en hoja de cálculo	29
3.2.1.3. Comparación de temperaturas obtenidas del modelo Daymate con fases fenológicas del cultivo de la vid	29

3.2.1.4. Comportamiento de la evapotranspiración de referencia (ET _o).....	30
3.2.2. Comportamiento de la sequía.....	31
3.2.2.1. Selección y ordenamiento de datos.....	32
3.2.2.2. Estimación de datos faltantes.....	33
3.2.2.2.1. Método U.S. National Weather Service.....	34
3.2.2.2.2. Método Coeficiente de Correlación Lineal.....	35
3.2.2.3. Método de elaboración de polígono Thiessen	35
3.2.2.4. Método para evaluar el comportamiento de las precipitaciones (SPI)	36
IV. DISCUSION DE RESULTADOS	39
4.1. Cambio Climático en la Costa de Hermosillo.....	39
4.1.1. Expresión del Cambio Climático como calentamiento global.....	39
4.1.2. Expresión del Cambio Climático como fenómeno meteorológico extremo sequía	46
4.1.3. Efecto del Cambio Climático expresado como calentamiento global y sequía sobre el acuífero de la Costa de Hermosillo y el cultivo de la vid.....	50
4.1.3.1. El Acuífero Costa de Hermosillo y el calentamiento global.....	50
4.1.3.1.1. Efecto del calentamiento global sobre la evapotranspiración de referencia.....	51
4.1.3.2. El cultivo de la Vid y el calentamiento global.....	53
4.1.3.2.1. Proceso de fotosíntesis.....	54
4.1.3.2.2. Proceso de acumulación de frío	56
4.1.3.2.3. Fase de brotación	57
4.1.3.2.4. Fase de floración.....	59
4.1.3.2.5. Fases de envero y maduración	61
4.1.3.2.6. Fase de cosecha.....	63
V. CONCLUSIÓN	68
5.1. Recomendaciones	69
VI. REFERENCIAS CITADAS	71
APÉNDICE 1. ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	85

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Estudios previos sobre el acuífero Costa de Hermosillo.</i>	<i>6</i>
<i>Tabla 2. Impactos del Cambio Climático global (relación con Figura 1).</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 3. Impactos del Cambio Climático global (relación con Figura 1 “continuación”).</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 4. Posibles consecuencias del Cambio Climático, sobre la región de la Costa de Hermosillo.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 5. Problemática por la sequía.</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 6. Cuestiones acerca del Cambio Climático, sobre la región de la Costa de Hermosillo.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 7. Ordenamiento de datos (temperaturas) por escala.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 8. Temperatura óptima del cultivo de la vid, en sus diferentes fases y procesos.</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 9. Estaciones meteorológicas en la Costa de Hermosillo.</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 10. Distancia en Km, entre estaciones meteorológicas en la Costa de Hermosillo...34</i>	
<i>Tabla 11. Clasificación de la sequía según valores del SPI.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 12. Prácticas agronómicas, para mejorar la eficacia de las fases fenológicas (envero y maduración).</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 13. Estrategias y políticas adoptadas por México en materia de Cambio Climático (1).....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 14. Estrategias y políticas adoptadas por México en materia de Cambio Climático (2).....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 15. Estrategias y políticas adoptadas por México en materia de Cambio Climático (3).....</i>	<i>87</i>

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Resumen de los impactos globales del Cambio Climático</i>	11
<i>Figura 2. Anomalía de la precipitación anual en México, 1941 – 2015</i>	15
<i>Figura 3. Variación del nivel del mar en algunos sitios de los litorales mexicanos</i>	16
<i>Figura 4. Contribución de los principales países emisores y México a la emisión mundial de CO₂ por consumo y quema de combustibles fósiles, 2013</i>	18
<i>Figura 5. Emisiones nacionales de gases de efecto invernadero, 1990 – 2013</i>	19
<i>Figura 6. Área de Estudio (Costa de Hermosillo)</i>	23
<i>Figura 7. Modelo conceptual de anomalías en la temperatura en la región de la Costa de Hermosillo</i>	25
<i>Figura 8. Coordenadas de la Costa de Hermosillo</i>	28
<i>Figura 9. Modelo conceptual para el análisis de la sequía</i>	32
<i>Figura 10. Expresión de la temperatura en la Costa de Hermosillo (Anual)</i>	39
<i>Figura 11. Expresión de la temperatura en la Costa de Hermosillo (Estacional)</i>	40
<i>Figura 12. Expresión de la temperatura en la Costa de Hermosillo (Mensual “Enero – Abril”)</i>	41
<i>Figura 13. Expresión de la temperatura en la Costa de Hermosillo (Mensual “Mayo – Agosto”)</i>	42
<i>Figura 14. Expresión de la temperatura en la Costa de Hermosillo (Mensual “Septiembre – Diciembre”)</i>	43
<i>Figura 15. Variación de la temperatura global (1880 – 2016)</i>	45
<i>Figura 16. Área de influencia del fenómeno meteorológico extremo (sequía) en la región de la Costa de Hermosillo</i>	46
<i>Figura 17. Comportamiento de la sequía según datos del SPI para 3, 12, 24 y 48 meses en el periodo 1974-2015</i>	47
<i>Figura 18. Parámetros básicos de la sequía</i>	48
<i>Figura 19. Expresión de la evapotranspiración de referencia (ET_o) como consecuencia del Cambio Climático en la región de la Costa de Hermosillo</i>	52

<i>Figura 20. Comportamiento del proceso fotosintético del cultivo de la vid, frente al Cambio Climático.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 21. Comportamiento del proceso para acumular horas frío, del cultivo de la vid frente al Cambio Climático.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 22. Comportamiento de la fase fenológica (brotación) del cultivo de la vid, frente al Cambio Climático.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 23. . Comportamiento de la fase fenológica (floración) del cultivo de la vid, frente al Cambio Climático.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 24. Comportamiento de las fases fenológicas (envero y maduración) del cultivo de la vid, frente al Cambio Climático.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 25. Comportamiento de la fase fenológica (cosecha) del cultivo de la vid, frente al Cambio Climático.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 26. Programas estatales de acción, inventarios de emisiones de GEI y Leyes publicadas ante el Cambio Climático elaborados en 2015.....</i>	<i>88</i>

I. INTRODUCCIÓN

La respuesta de los ecosistemas terrestres al cambio global, y los efectos resultantes de esta variación climática sobre los recursos naturales de los que la humanidad depende, son elementos de gran interés para la sociedad y la comunidad científica (Vitousek 1994). Se espera que debido a las emisiones antrópicas de gases invernadero la temperatura media de la tierra se eleve entre 1.1 y 6.4 °C durante el presente siglo, dependiendo de los escenarios socioeconómicos y de las emisiones resultantes de los mismos (IPCC, 2001). Es muy probable que este calentamiento altere los patrones globales de circulación atmosférica y los ciclos hidrológicos, cambiando los regímenes de precipitación regional (IPCC, 2001). Los cambios resultantes en las temperaturas de suelo y aire, en los contenidos de agua y nutrientes en el suelo y en las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico probablemente alteraran el funcionamiento y estructura de los ecosistemas terrestres. Debido a que estas alteraciones ocurrirán al mismo tiempo que otros cambios ya existentes en los usos del suelo y que ya han afectado los recursos naturales y la biodiversidad, los impactos sobre la sociedad humana podrán ser importantes (Vitousek 1994).

Un elevado número de investigaciones se ha dirigido a comprender los efectos del aumento de las temperaturas y las concentraciones de CO₂ sobre la estructura y fisiología de los ecosistemas terrestres (Koch & Money 1996; Shaver *et al.*, 2001). Sin embargo, y aunque ha habido un interés histórico por entender las relaciones entre vegetación y lluvia (Noy-Meier 1973; Leith 1975), el esfuerzo investigador por anticipar como los cambios de la precipitación previstos por los modelos de cambio climático afectaran a las comunidades vegetales ha sido escaso (Weltzin *et al.*, 2003). Es probable que estos patrones de lluvia tengan un impacto incluso mayor sobre los ecosistemas que el efecto aislado o combinado de un incremento de la concentración de CO₂ y de la temperatura, especialmente en ecosistemas áridos y semiáridos (Weltzin *et al.*, 2003), que por otro lado son los más sensibles a los cambios en la disponibilidad de agua, pues esta determina procesos como el

establecimiento, crecimiento y reproducción, el ciclo de nutrientes y la productividad (Noy-Meir 1973; Leith 1975; Sala & Lauenroth 1982; Lloret *et al.*, 2004; Padilla & Pugnaire 2007).

Los modelos más ampliamente aceptados predicen un incremento en la precipitación media global de alrededor de un 7% a lo largo de este siglo (IPCC 2001). Pero ese incremento no va a ser general, sino que mientras que ese es el aumento previsto para trópicos y altas latitudes, en latitudes subtropicales se prevé disminución de las precipitaciones (IPCC 2001). Además diversos modelos de circulación general de la atmósfera predicen una mayor frecuencia de eventos de precipitación extremos, un menor número de días de lluvia, y periodos de sequía más largos (IPCC, 2001; Rind *et al.*, 1989; Easterling *et al.*, 2000). Si bien las previsiones para muchas regiones geográficas continúan siendo ambiguas y los modelos parecen incapaces de hacer predicciones certeras sobre la magnitud y la dirección del cambio en la precipitación para escalas más pequeñas o de interés para la actividad biológica (Weltzin *et al.*, 2003).

En México, la vulnerabilidad de la población a extremos del clima es grande. Dado que una parte de nuestro territorio es semiárido, las precipitaciones se consideran importantes en nuestro sector y cuando en tiempo de lluvias se presenta variabilidad climática, puede resultar en amenaza de sequía y con frecuencia, en desastres para sectores dependientes del agua como la agricultura. Prácticamente altamente relacionados con las variables del clima principalmente en la temperatura, por lo cual cambios en esta variable inciden en un efecto directo sobre los cultivos; el cual, puede ser benéfico según Conde *et al.*, (2004) para regiones como Tlaxcala, a través del incremento de las temperaturas mínimas nocturnas. Sin embargo, para otras regiones, como Chihuahua, Sonora o Aguascalientes, extremas olas de calor amenazarán a los cultivos y al ganado (INE 2010).

Según Méndez (2017), La Costa de Hermosillo, Sonora México es una región que ha cultivado fundamentalmente productos de exportación desde mediados de la década de los años 1940. El mismo autor menciona que a la fecha, se explotan primordialmente dos cultivos anuales “Sandía (*Citrullus lanatus*) y Trigo (*Triticum aestivum*)” y dos perennes “Uva de

mesa (*Vitis vinifera*) y Nogal pecanero (*Carya illinoensis*)”; sin embargo entre estos el cultivo de la vid se puede catalogar como el más importante del estado de Sonora, por la gran cantidad de jornales que genera y el valor de las divisas que ingresan al país debido a su exportación a mercados cada vez más lejanos (Castro *et al.*, 2012). Cabe mencionar que el cultivo de la vid, así como los demás en explotación en la Costa de Hermosillo; son sustentados por el acuífero pues, según CONAGUA (2013), su ubicación implica una región árida donde el 90% del agua para la agricultura proviene de fuente subterránea.

Para generar escenarios y/o definir los impactos y la vulnerabilidad con relación al cambio y variabilidad climática en la agricultura y la cuenca hidrológica en la Costa de Hermosillo, Sonora., es importante conocer las tendencias del pasado y a futuro de los mecanismos que modulan el tiempo y clima. Por lo que se requiere de estudios científicos que permitan analizar los cambios que se experimentan y se producirán a través de los años, de tal manera que sea posible conocer los posibles efectos del cambio y variabilidad climática (CVC) en la región, sobre el cultivo de la vid y su sustento hidrogeológico por medio de los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

- Encontrar evidencia de CC en la región de la Costa de Hermosillo y su impacto sobre el acuífero y el cultivo de la vid.

1.2. Objetivos específicos

- Encontrar un posible aumento en las temperaturas máximas, mínimas y promedio a escala mensual, estacional y anual.
- Encontrar un posible aumento e intensificación del fenómeno meteorológico extremo (sequía).
- Encontrar un posible aumento de la evapotranspiración de referencia (ET_o).

- Encontrar un posible impacto de las variaciones en las temperaturas sobre los procesos y fases fenológicas de la vid.

1.3. Hipótesis

- El Cambio Climático está presente en la región de la Costa de Hermosillo, trayendo consigo impactos negativos sobre el cultivo de la vid y su sustento hídrico (el acuífero).

1.4. Justificación

- El informe más reciente del Foro Económico Mundial (WEF por sus siglas en inglés) Global Risks 2014, catalogó el Cambio Climático (CC) como un riesgo ambiental que ocupa el segundo puesto entre los riesgos mundiales de mayor impacto potencial en la presente década. Según Sanders *et al.* (2010) este, puede influir en la disminución de la disponibilidad media de agua y en que la frecuencia de eventos extremos como la sequía aumenten.
- La agricultura y el CC, son procesos relacionados entre sí que tienen escala mundial (IPCC, 2007). Se prevé que el calentamiento global tenga un impacto significativo que afectará la agricultura, la temperatura, el dióxido de carbono, el deshielo, las precipitaciones y la interacción entre estos elementos; Los cuales determinan la capacidad de carga de la biosfera para producir suficiente alimento para todos los seres vivos. Las consecuencias resultantes del CC y de la agricultura dependerán a nivel general, del balance de estos efectos. El estudio de estos fenómenos, podría ayudar a anticipar y adaptar adecuadamente el sector agrícola para así maximizar su productividad (Fraser, E., 2008).
- Se ha visto, que la agricultura también puede producir efectos significativos en el clima, principalmente por la producción y liberación de gases de efecto

invernadero como dióxido de carbono, metano y óxido nítrico; por la alteración de la superficie del planeta, la cual pierde su capacidad de absorber o reflejar calor y luz, así como por el forzante radiactivo. La deforestación y la desertificación, además de los combustibles fósiles, son las mayores fuentes antropogénicas de dióxido de carbono. La agricultura en sí es el principal contribuyente en incrementar las concentraciones de metano y óxido nítrico en la atmósfera del planeta (IPCC, 2007).

- Según el panel intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) (2008), este se define como el estado promedio del tiempo meteorológico y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante periodos que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años. Las magnitudes correspondientes son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento) (Salazar, 2015).
- La temperatura es importante para una serie de procesos fisiológicos de los cultivos: la polinización, el llenado del grano y la fotosíntesis básica. Las altas temperaturas durante varios días o con un pico extremo durante algunas horas, pueden ocasionar serios impactos negativos sobre estos procesos, con consecuencias posteriores para el rendimiento de los cultivos. Los órganos reproductivos son particularmente sensibles: los eventos de calor extremo durante la floración o polinización, aunque sean de corta duración, pueden reducir severamente una cosecha. (Araus *et al.*, 2008; Semenov and Halford 2009).
- La uva de mesa (*Vitis vinífera*) en sus variedades perlette, flame, superior y red globe, es considerada una de las principales frutas en el sector agrícola mexicano, se caracteriza por ser un fruto de exportación que, sumado al alto valor de su producción, representa una fuente importante de divisas, además de ser un generador de empleo a causa del uso extensivo de mano de obra (Vázquez, 2011). De la producción total en el país de 17,716 hectáreas, el (93%) se obtiene del estado de Sonora, específicamente

de las regiones de Hermosillo (61%) y Caborca (19%) (SIAP-SAGARPA, 2012).

- Dentro de los factores permanentes de la producción vitícola, el clima es posiblemente el que con mayor intensidad determina las posibilidades y la vocación vitícola del medio, en relación con las exigencias de las variedades de vid cultivadas y los destinos de producción (Hidalgo e Hidalgo, 2011).
- Los estudios previos sobre el acuífero de la Costa de Hermosillo (Tabla 1), no contemplan la temática del cambio y/o variabilidad climática:

Tabla 1. Estudios previos sobre el acuífero Costa de Hermosillo.

Autor	Enfoque del estudio
(Andrews 1981; Puebla Menchaca 1987; Rodríguez y Pérez 1991; Steinich <i>et al.</i> , 1997 y 1998; Castro 1998; Castillo 2000; Monreal <i>et al.</i> , 2001 y Rangel <i>et al.</i> , 2002 y 2003).	Administración y características del recurso en la región; en especial, sobre la intrusión salina y otras formas de contaminación del agua subterránea.
(Ariel Construcciones S. A. 1968; Vega y Saiz 1995; Monreal <i>et al.</i> , 2002).	Disponibilidad de agua.
(Comunatec S.A. 1986).	Relación de la escasez con el funcionamiento integral de la cuenca del río Sonora.
Cruz (1969).	Cálculos sobre las pérdidas monetarias debido al desnivel del terreno y el uso ineficiente del volumen de agua asignado.
(Zambrano 1971); Cárdenas 1981 y Cabanillas 1985).	Calculo del patrón de cultivos óptimos, haciendo énfasis en el agua como recurso escaso.
(Salazar <i>et al.</i> , 2012).	Agricultura y manejo sustentable del acuífero de la Costa de Hermosillo.
(Méndez, 2017)	Huella hídrica de la agricultura

Fuente: Modificado de Méndez, (2017).

- Actualmente existe un interés particular por conocer el efecto del Cambio Climático sobre el cultivo de la vid. Así se expuso, en el Simposio internacional de Viticultura y Enología 2016 llevado a cabo en Hermosillo, Sonora, México, al presentar por investigadores del INIFAP temáticas como: Temperatura del otoño e invierno en la brotación de vid., Efecto del Cambio Climático en la producción de vid.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Aspectos generales del clima

2.1.1. El sistema climático

El clima es la estadística (normalmente, la media o la varianza) del tiempo atmosférico, normalmente sobre un intervalo de 30 años (Shepherd *et al.*, 2005 y Baede, A.P.M., 2015). Se mide al evaluar los patrones de variación en temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, viento, precipitación, radiación solar, y otras variables meteorológicas en una región dada sobre periodos largos de tiempo. El clima difiere del tiempo, en que el tiempo solo describe las condiciones de corto plazo de estas variables en una región dada. De estos elementos, los más importantes son la temperatura y las precipitaciones, porque en gran parte, los otros elementos o rasgos del clima están estrechamente relacionados con los dos que se han citado.

El sistema climático se define como un conjunto de componentes cuyas propiedades y procesos establecen el clima y son responsables de su variabilidad. Se trata de un sistema termo-hidrodinámico, compuesto por cinco subsistemas: la atmósfera, la hidrósfera, la criósfera, la litosfera y la biosfera. Estos cinco elementos están ligados entre sí, constituyendo un sistema global, en el que las variaciones del estado de uno de los mismos afecta al comportamiento de los otros, desencadenando una reacción cuyos efectos pueden reforzar o retraer la variación original (Peixoto, 1987).

2.1.1.1. La atmósfera e hidrósfera

La atmósfera es el subsistema de mayor variabilidad dentro del sistema climático, así como aquél que tiene el menor tiempo de respuesta. En cuanto a los océanos, son la parte más importante de la hidrósfera, siendo la principal fuente de humedad del ciclo hidrológico (evaporación), influyendo decisivamente en las variaciones climáticas, absorbiendo la mayor parte de la radiación solar que alcanza la superficie del globo. En virtud de su masa y del gran valor del calor específico del agua, los océanos representan una enorme reserva de

energía, de modo que poseen una inercia mecánica y térmica grande, cuyas escalas temporales pueden ir de algunas horas a meses y años. Las corrientes oceánicas son una parte integrante del ciclo hidrológico. Ellas transportan cantidades enormes de calor de las regiones ecuatoriales (más cálidas) a las regiones polares y por consiguiente más frías (Mcgregor y Nieuwolt, 1998).

Los océanos y la atmósfera acumulan e intercambian energía en forma de calor, humedad y momento. Las mayores reservas de humedad están localizadas en los océanos, los cuales absorben más calor que el continente y la superficie de hielos, almacenando más calor que la Tierra. Este calor es liberado más lentamente sobre el continente lo cual hace que las áreas costeras se mantengan más templadas. Los cambios en el balance energético entre los océanos y la atmósfera juegan un papel importante en el CC planetario. Por otra parte, la circulación de los océanos está afectada por las variaciones que tienen lugar en la circulación atmosférica. De este modo, la fricción del viento sobre la capa superficial del océano origina las corrientes oceánicas. El viento también mezcla las superficies marinas originando lo que se llama la capa de mezcla, donde existe un pequeño cambio de temperatura vertical (Seager *et al.*, 2001).

Los movimientos verticales por debajo de la termoclina ceden calor que es almacenado en el océano profundo y liberado de vuelta en contacto con la atmósfera. Debido a su capacidad de almacenar cantidades enormes de calor y humedad, los océanos alteran las condiciones atmosféricas, por ejemplo, formando tormentas tropicales sobre corrientes oceánicas cálidas, y suministrando la energía para la formación de huracanes. Localmente, el afloramiento (del suelo) en ciertas regiones costeras proporciona un contraste entre la temperatura del aire sobre el océano y el continente. (Seager *et al.*, 2001).

Las variaciones en la circulación general de la atmósfera y del océano están relacionadas con la variabilidad de las condiciones de la superficie terrestre, tales como la temperatura de la superficie del mar, la nieve y el hielo. Estas variaciones, sobre todo en escalas de tiempo interanual e interdecadal, son de gran importancia para la vida animal y vegetal y,

especialmente, para la agricultura y otras actividades relacionadas con el hombre. (Seager *et al.*, 2001).

2.1.2. Cambio climático

Las actividades productivas se han intensificado globalmente como consecuencia de una población mundial que crece aceleradamente al igual que sus necesidades, y con patrones de consumo cada vez más demandantes. Resultado de ello, la energía y los materiales necesarios para la producción de bienes y servicios han crecido significativamente, sobre todo desde la segunda mitad del siglo XX. Los impactos de este crecimiento pueden observarse a nivel global, regional y local, siendo uno de los más reconocidos por sus efectos y posibles consecuencias el CC global, que representa hoy en día, junto con la pérdida de la biodiversidad, uno de los principales retos ambientales globales (Semarnat, 2016).

El clima, y en particular la temperatura del planeta, dependen del balance entre la energía solar que recibe y el calor que emite (radiación infrarroja). Los gases de efecto invernadero (GEI) presentes naturalmente en la atmósfera dejan pasar la radiación solar hacia la superficie terrestre, pero absorben la radiación infrarroja que esta emite, produciendo con ello un efecto neto de calentamiento, de manera similar a como ocurre en los invernaderos. Las actividades humanas emiten volúmenes de GEI que se suman a los que de manera natural existen en la atmósfera, con lo que se incrementa su concentración en la atmósfera y con ello el efecto de calentamiento (Semarnat, 2016). El CC global actual se manifiesta a través del incremento de la temperatura, los cambios en la precipitación (tanto en intensidad como en su distribución temporal y espacial), la intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, el deshielo de los glaciares y el incremento del nivel del mar, entre otros (Semarnat, 2016). Se define como CC, “...*todo cambio en el clima a través del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas*” (IPCC, 2007a).

Ha transcurrido más de un siglo desde las primeras advertencias sobre el aumento en la concentración de bióxido de carbono atmosférico (CO₂) debido a la quema de combustibles fósiles que pudieran alterar las propiedades ópticas de la atmósfera (Arrhenius 1896 y

Callengar 1938) e incluir cambios en los componentes de la ecuación del equilibrio termodinámico de la tierra, particularmente la que se refiere a la temperatura media global de la capa límite de la troposfera baja.

Los efectos del calentamiento global son tan importantes que la ONU estableció especialmente al Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) en 1988 para evaluar la información relevante sobre el tema, el impacto potencial sobre los recursos (hidrológicos, desertificación y sequía meteorológica, agricultura, asentamientos humanos, etc.) y las posibles medidas de mitigación y adaptación. Los escenarios futuros que ha generado el IPCC muestran rápidos incrementos en la temperatura promedio global para el presente siglo, lo que ya está ocasionando alteraciones al ciclo hidrológico y consecuentemente, cambios importantes en la disponibilidad de agua.

Hasta finales del siglo XX los trabajos realizados dan cuenta de cambios en diferentes variables que caracterizan el clima. En la actualidad no queda duda de que la temperatura global del planeta está aumentando y de que los regímenes de lluvia están cambiando. Si bien es cierto que en escalas de tiempo de miles o millones de años las concentraciones en gases de efecto invernadero cambiarían considerablemente de manera natural, produciendo sustanciales variaciones en la temperatura, estas se produjeron en muchos miles a millones de años. Incluso los ciclos de las glaciaciones (salir de periodos glaciales) en el planeta requieren igualmente de miles a millones de años.

De mediados del siglo XIX a la fecha, la actividad humana a resultado en aumentos globales de la temperatura del orden de $0.6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (IPCC, 2001). El IPCC, (2015) señaló que el incremento de la temperatura superficial observada desde mediados del siglo XX a la fecha sea la causa muy probablemente (66-100%) del incremento de las concentraciones de gases efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico en todas las regiones, excepto la Antártida.

2.1.2.1. Evidencias y consecuencias del Cambio Climático

2.1.2.1.1. Situación Global

Según el IPCC (2014), en las últimas décadas, los cambios en el clima han causado impactos en los ecosistemas, la sociedad y los sectores productivos (Figura 1).

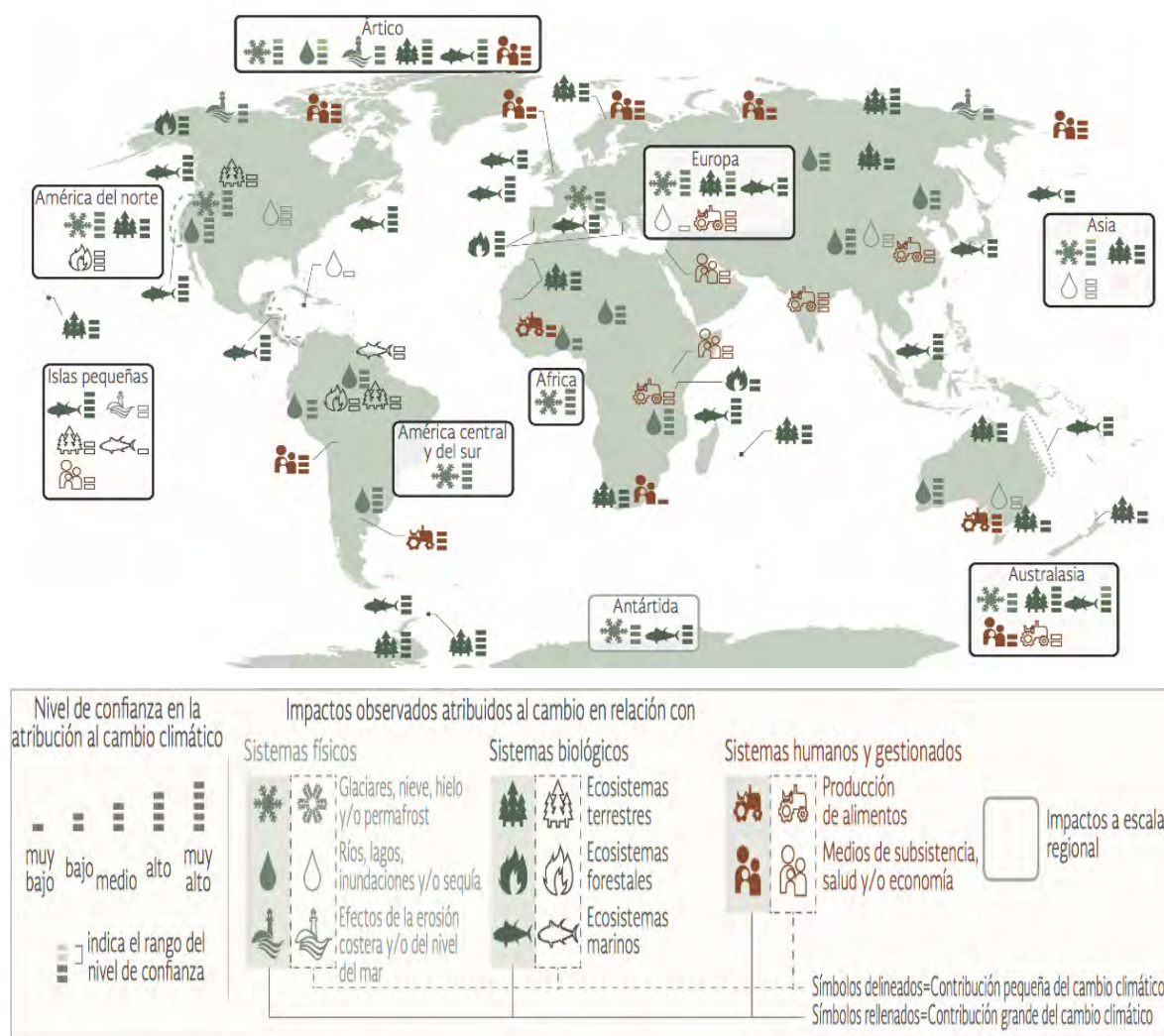


Figura 1. Resumen de los impactos globales del Cambio Climático. Fuente: IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectorial Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York. 2014.

Como se muestra en la Figura 1, los impactos atribuidos al CC se distribuyen por las diferentes regiones en el mundo afectando tanto los sistemas físicos como los biológicos y los sistemas humanos y gestionados (ejemplo: empresas y recursos). Esto se debe de forma

contundente al calentamiento global, fenómeno que afecta de forma general a todos los sistemas (Tabla 2 y 3).

Tabla 2. Impactos del Cambio Climático global (relación con Figura 1).

Alteración	Evidencia	Consecuencias
El ciclo hidrológico	Cambios en los patrones de precipitación, temperatura y en los balances de los depósitos de hielos de glaciares y otros mantos.	Alteraciones en la disponibilidad hídrica.
Glaciares	Disminución del grosor. Los glaciares tropicales de los Andes disminuyeron 0.2 m en el periodo 1964-1975 y 0.76 m de 1976-2010. (Rabatel <i>et al.</i> , 2013). Se ha documentado también un retroceso de los glaciares alpinos, escandinavos, islandeses, andinos y aquellos de regiones occidentales y septentrionales de América del Norte.	Aumento del nivel del mar. Los asentamientos humanos también se verían afectados por los deshielos. Más de un sexto de la población mundial que vive en cuencas fluviales alimentadas por el agua que se derrite de la nieve o los glaciares podría verse afectada al reducirse su disponibilidad; al igual que lo sería la generación de energía hidroeléctrica a causa de la disminución del volumen de agua almacenado en los glaciares y la reducción de su escorrentía (IPCC, 2007b).
Permafrost	Deshielo en latitudes altas y zonas elevadas.	Liberación de bióxido de carbono y metano (dos de los principales gases de efecto invernadero). Posible aumento de la temperatura entre 0.13 y 1.69 °C adicionales para el año 2030 (MacDougall <i>et al.</i> , 2012).
Agricultura	Disminución en el rendimiento de los cultivos de trigo y maíz en muchas regiones y a nivel global (IPCC, 2013). También se ha registrado una reducción en el rendimiento de los cultivos de arroz y la soya, aunque en menor nivel.	Riesgo de la seguridad alimentaria de muchos países, o bien, encarecer estos productos a tal nivel que se vuelvan inaccesibles para amplios sectores de la población, pues se tienen documentados incrementos en los precios de alimentos y cereales después de eventos climáticos extremos en las regiones donde se producen.
Biodiversidad	En muchas especies terrestres, dulceacuícolas y marinas se tienen registros de modificaciones en sus áreas de distribución geográfica, patrones de migración e interacciones con otras especies (IPCC, 2013). En los arrecifes de coral, se tienen registros de eventos de blanqueamiento, así como cambios en las áreas de distribución de especies de invertebrados, peces, insectos, aves y plantas; también se han observado cambios en las épocas de floración en muchas especies de plantas y el anticipo en la llegada y reproducción de aves migratorias.	
Salud humana	Incrementos de la mortalidad asociada a eventos de calor extremo. En la Federación de Rusia, por ejemplo, en 2010 murieron alrededor de 55 mil personas por la onda de calor registrada ese año (Barriopedro <i>et al.</i> , 2011). Modificación y extensión la distribución de algunos vectores de enfermedades, como el caso de los mosquitos que transmiten el dengue y el paludismo.	

Fuente: Semarnat, (2016).

Tabla 3. Impactos del Cambio Climático global (relación con Figura 1 “continuación”).

Alteración	Evidencia	Consecuencias
Precipitación	De acuerdo con el IPCC, a partir de 1976 la humedad superficial aumentó en estrecha relación con las temperaturas más altas tanto terrestres como oceánicas. El vapor de agua total en el aire, sobre los océanos, aumentó 1.2% por década desde 1988 hasta 2004, lo que podría reflejarse en el aumento de precipitaciones tanto en forma de lluvia como de nieve (IPCC, 2007b). Se ha observado un incremento significativo de la frecuencia o intensidad de las precipitaciones en América del Norte y Europa, así como condiciones más secas en el Mediterráneo, África meridional y algunas zonas de Asia meridional (IPCC, 2007b, 2008 y 2013).	Alteración del ciclo hidrológico entre otros.
Nivel del mar	El incremento total del nivel medio del mar durante el periodo 1901-2010 fue de 19 centímetros, con un rango que oscila entre los 17 y 21 centímetros (IPCC, 2013). El ritmo al que ha ocurrido el ascenso del nivel, para el mismo periodo, se ha estimado en 1.7 milímetros por año en promedio (IPCC, 2013).	Tal vez este incremento parezca mínimo, pero si se considera que existen numerosas ciudades ubicadas en zonas costeras bajas e incluso por debajo del nivel del mar (como es el caso de Ámsterdam, Holanda, que está en promedio 4 metros por debajo del nivel del mar), pequeños cambios pueden tener efectos importantes.
Eventos meteorológicos extremos	La intensidad de los huracanes ha sido influenciada directamente por el incremento de la temperatura de los océanos (Webster <i>et al.</i> , 2005).	Daños que causan a viviendas e infraestructura pueden ser muy significativos.
	Los tornados son perturbaciones atmosféricas que se forman por el choque de masas de aire con diferente densidad, temperatura, humedad y velocidad (Cenapred, 2014)	
	Sequía (Precipitación significativamente menor a lo normal).	Puede ocasionar serios desequilibrios hidrológicos que afectan negativamente a los sistemas ecológicos y productivos (UNCCD, 1996)
Temperatura	Entre 1880 y 2012, la temperatura anual global (considerando la terrestre y oceánica) registró un aumento de 0.85 °C con respecto al promedio del periodo 1961-1990 (IPCC, 2013). “Calentamiento global” evidencia más contundente de la existencia del CC.	Todo lo anterior

Fuente: Semarnat, (2016).

El calentamiento observado a nivel global se ha acompañado en las latitudes medias por el aumento del número de días cálidos extremos, así como por la disminución de la cantidad de días gélidos extremos y heladas (IPCC, 2007a). Los registros demuestran que las

temperaturas extremas y las olas de calor en el mundo aumentaron en frecuencia y duración, lo que tiene importantes efectos sobre la salud de la población. Por ejemplo, en Europa occidental murieron 72 210 personas durante la ola de calor de 2003, en la Federación de Rusia la cifra alcanzó alrededor de 55 mil personas y en Perú 339 el mismo año (WMO, 2014).

El calentamiento global está provocando predicciones catastróficas que a veces son poco creíbles para unos por lo extremista y otros investigadores sugieren que sí podrían presentarse, pero como procesos transicionales y milenarios, así que la controversia varía entre los diversos autores principalmente en los tiempos, no en los efectos, como el derretimiento de los casquetes polares, el cual a su vez provocaría: el ascenso gradual del nivel del mar, con la consiguiente pérdida del terreno continental que quedaría cubierto por agua marina; cambios en las condiciones de descarga al mar de ríos y acuíferos; modificación de los ecosistemas costeros, y en los acuíferos costeros un desplazamiento hacia tierra adentro de la superficie de contacto entre el agua marina y el agua dulce continental, con la consiguiente disminución de la reserva subterránea de agua dulce (SEMARNAT, 2009).

2.1.2.1.2. Situación Nacional

Temperatura: A nivel nacional, las cifras de observación de los organismos oficiales entre 1960 y 2012, describen que el incremento promedio de la temperatura fue de 0.85 °C, valor similar al reportado a nivel mundial para el periodo 1880-2012 (Semarnat, 2014). En México, desde el año 2005 los registros anuales de temperatura han estado por arriba de los 21.4 °C (con excepción del año 2010), valor por arriba del promedio anual de temperatura registrado en el periodo 1971-2011 que alcanzó 20.9 °C. Entre 2006 y 2015 la temperatura nacional estuvo más de medio grado centígrado por arriba del promedio del periodo 1971-2000, con excepción de los años 2008 y 2010. Se estima además que la temperatura media nacional durante 2015 fue de 22.1 °C, valor 1.1 °C por arriba del periodo 1981-2010, con lo que se convierte junto con 2014 como los más cálidos desde 1971 (Conagua, 2015).

El incremento de temperatura nacional no ha sido homogéneo a lo largo del territorio. Por ejemplo, en 2015 los promedios de la temperatura media más altos (de entre 30 y 35 °C) de temperatura media anual se registraron en la vertiente del Pacífico desde Chiapas hasta Baja California Sur y en el Golfo de México y el Caribe. Los promedios más bajos (10 a 15 °C) se concentraron en el sur de Chihuahua y norte de Durango (Conagua, 2015).

Precipitación: La precipitación, no ha seguido un patrón claro de cambio, muestra aumentos o disminuciones con variaciones regionales (Figura 2). En el periodo 1941-2015, 55% de los años (41 de 74 años) registraron niveles de precipitación por debajo del promedio; 1945 fue el año menos lluvioso (638.8 mm) y 1958 el más lluvioso (997.8 mm). En el 2015 la precipitación (872 mm) fue 11.7% superior al promedio anual del periodo.

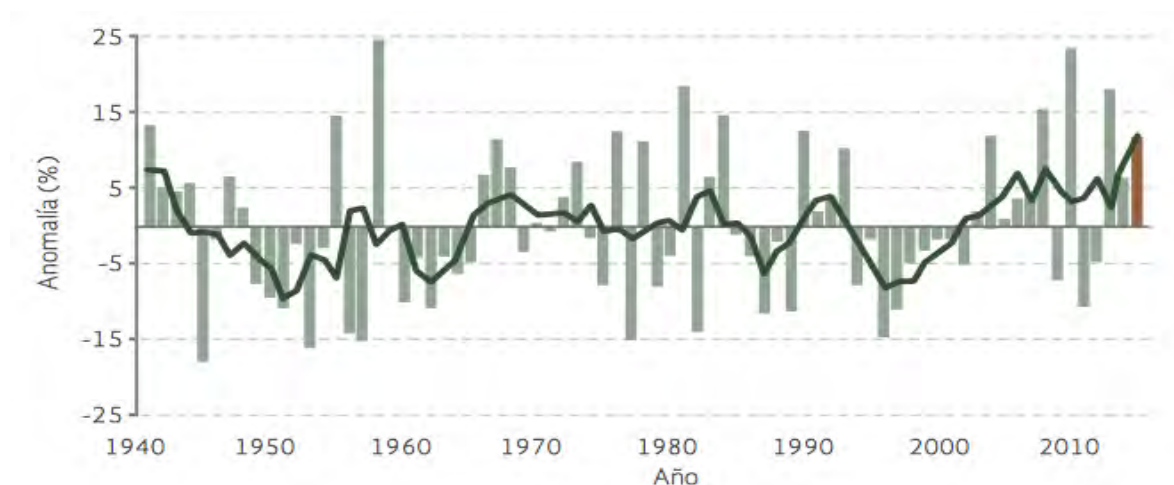


Figura 2. Anomalía de la precipitación anual en México, 1941 – 2015. Nota: La barra café corresponde a la anomalía nacional estimada en 2015 y la línea verde oscuro a la media móvil de cinco años. Fuente: Conagua. Reporte del Clima en México. Reporte Anual 2015. México. 2015.

Nivel del mar: Las costas también han sido afectadas por la elevación del nivel del mar. En 17 sitios estudiados en el Golfo y en el Pacífico entre principios de los años cincuenta y el año 2000 se encontraron evidencias de elevación del nivel del mar. En el Golfo de México, el incremento anual registrado varió entre 1.9 milímetros en Veracruz, Veracruz, hasta 9.16 milímetros en Ciudad Madero, Tamaulipas (Figura 3). En el Pacífico sobresalieron Guaymas, Sonora y Manzanillo, Colima, con incrementos anuales de 4.23 y 3.28 milímetros, respectivamente (INE *et al.*, 2008).

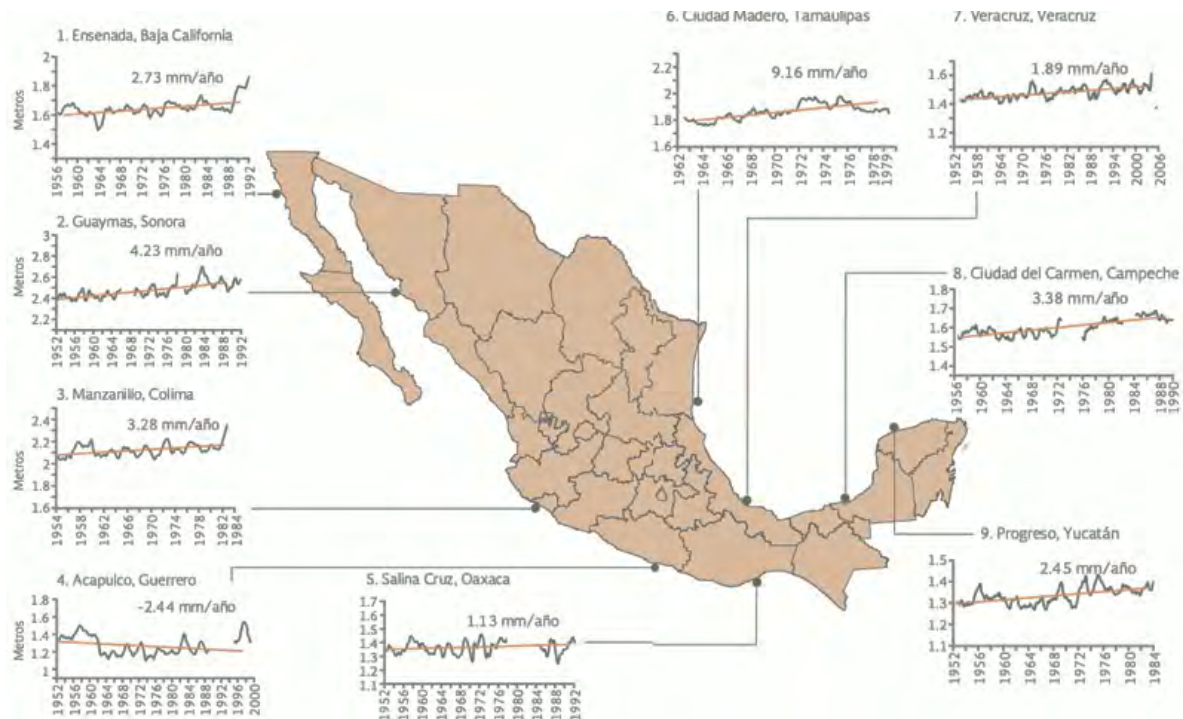


Figura 3. Variación del nivel del mar en algunos sitios de los litorales mexicanos. Fuente: INE, Semarnat y UNAM. Evaluación regional de la vulnerabilidad actual y futura de la zona costera mexicana y los deltas más impactados ante el incremento del nivel del mar debido al calentamiento global y fenómenos hidrometeorológicos extremos. INE, Semarnat y UNAM. México. 2008

Glaciares: En México, se han registrado reducciones de hasta el 40% entre 1960 y 1983 en la extensión de los glaciares del Iztaccíhuatl. El Pico de Orizaba y el Popocatepetl mostraron una tendencia similar (aunque en este último la reducción se aceleró por su actividad volcánica). Se ha planteado que de mantenerse las tasas de reducción de los glaciares mexicanos, es posible que desaparezcan en menos de 30 años (Delgado, 2007; Delgado *et al.*, 2007).

Fenómenos meteorológicos extremos (ciclones y sequías): Los ciclones tropicales son fenómenos meteorológicos que inciden directamente en el clima de una extensa área del país, a ellos se debe el gran porcentaje de humedad proveniente del mar hacia el territorio nacional. Las lluvias asociadas con estos fenómenos generan la mayor cantidad de precipitación pluvial anual dado que los principales climas del país están caracterizados por lluvias abundantes en verano y nula o escasa lluvia invernal (CONAGUA, 2008). En los últimos años se han

producido inundaciones de importantes ciudades en diferentes estados, por ejemplo, en Quintana Roo en 2006, Tabasco en 2007, Querétaro, Guanajuato, Chihuahua en 2008, producto todas ellas de intensas lluvias que muestran el alto grado de vulnerabilidad, de muchas ciudades, donde la calidad del agua para consumo humano es seriamente comprometida durante el evento (CONAGUA, 2008.). No debe pensarse que las inundaciones son producto directo del CC. Más bien obedecen al cúmulo de factores concurrentes como cambios en el régimen de lluvias, uso de suelo, deforestación y en la humedad de suelo, cambios antropogénicos en la hidrología de los sistemas, urbanización, falta de planeación en el crecimiento urbano, asentamientos humanos en sitios no aptos, entre otros (Simonovic y Li, 2003). La presencia de inundaciones y eventos meteorológicos extremos inciden en la calidad del agua, como se ha demostrado en inundaciones en diversas partes del mundo.

Con respecto a la sequía, en el siglo XX se registraron cuatro grandes periodos: 1948-1954, 1960-1964, 1970-1978 y 1993-1996, así como una sequía severa en 1998, los cuales afectaron principalmente a los estados del norte del país (Cenapred, SEGOB, 2001). Recientemente se presentaron severos periodos de sequía entre 2000 y 2003, en 2006, entre 2007 y 2008, en 2009 y entre 2010 y 2012. En mayo de 2011, más del 90% de la superficie del país se consideraba afectada por la sequía. En 2014 y 2015 el porcentaje de superficie afectada fue menor al 50% de la superficie nacional.

2.1.2.2. La causa del Cambio Climático Antropogénico (incrementos en la emisión y concentración de los GEI)

Los gases de efecto invernadero (GEI) se emiten tanto por fuentes naturales como por las actividades humanas. La quema de combustibles fósiles es la principal fuente antropogénica emisora de GEI. A partir de la Revolución Industrial del siglo XVIII, y con mayor intensidad durante la segunda mitad del siglo XX, se aceleró la producción de bienes y servicios y con ello se produjo una mayor demanda y consumo de estos combustibles. Como consecuencia, las emisiones de GEI también aumentaron y se acumularon en la atmósfera, lo que de acuerdo

con la evidencia científica disponible, ha promovido el CC (IPCC, 2013). Los principales países emisores de los GEI, se muestran en la siguiente figura:

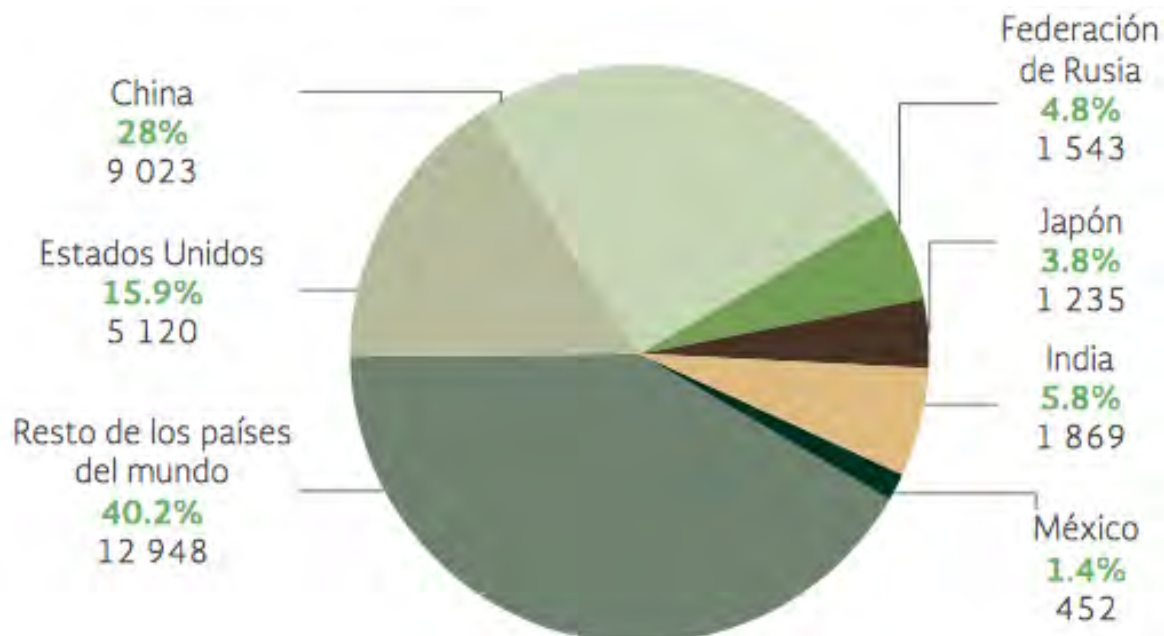


Figura 4. Contribución de los principales países emisores y México a la emisión mundial de CO₂ por consumo y quema de combustibles fósiles, 2013. Millones de toneladas de bióxido de carbono y porcentaje. No incluye las emisiones de bunkers internacionales. Fuente: IEA. CO₂ Emissions from Fuel Combustion. 2015. IEA. France. 2015. Disponible en: www.iea.org/media/freepublications/stats/CO2Highlights2015/Exceltables.xls. Fecha de consulta: Agosto de 2016.

Durante el periodo 1971-2013, la emisión mundial derivada del consumo de combustibles fósiles aumentó alrededor de 130%. De acuerdo con el último informe publicado por la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), en el año 2013, cinco países fueron responsables del 58.4% del CO₂ emitido a nivel mundial por consumo y quema de combustibles fósiles: Estados Unidos, China, Federación de Rusia, Japón e India, en conjunto emitieron 18 790 millones de toneladas de un total de 32.2 mil millones generadas en el planeta. Entre estos países, destacan China y Estados Unidos, responsables de 28 y 15.9% de las emisiones en el planeta en ese año, respectivamente. La contribución de México a las emisiones globales en 2013 fue de 1.4%, ubicándolo entre los primeros quince países por su volumen de emisión. Si se considera la emisión de bióxido de carbono en el contexto regional sobresalen Asia, Norteamérica y Europa. A nivel nacional, la Figura 5 muestra cuales son las principales actividades que liberan GEI:

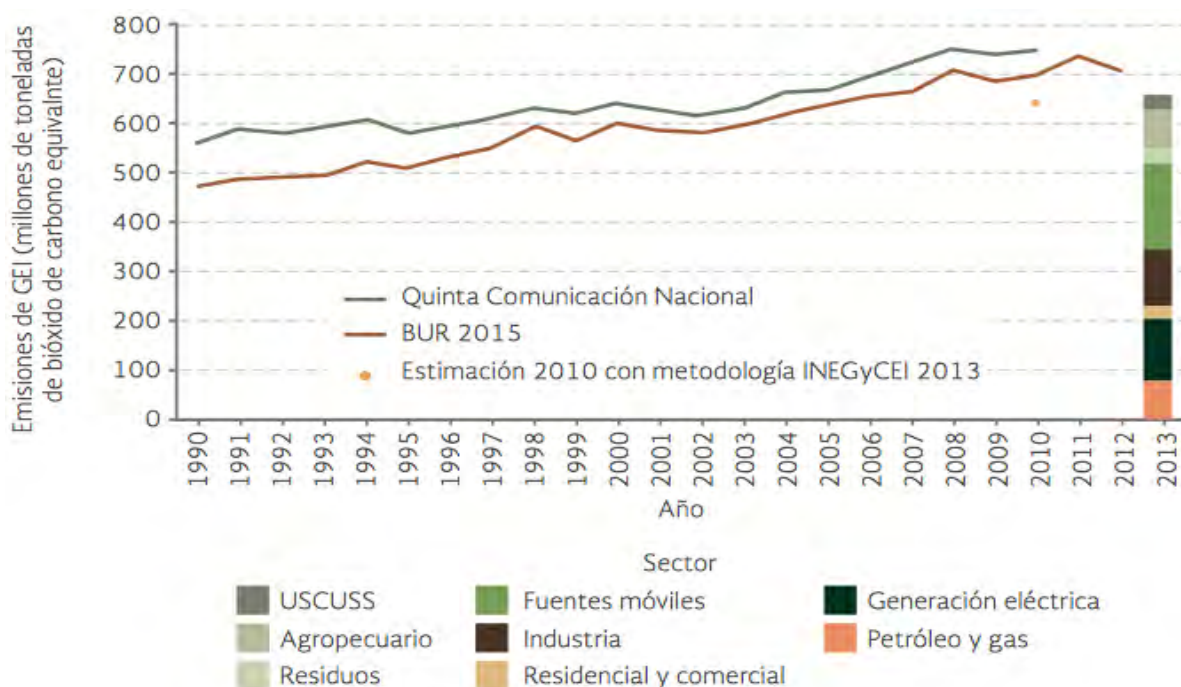


Figura 5. Emisiones nacionales de gases de efecto invernadero, 1990 – 2013. Fuentes: INECC, Semarnat. Coordinación del Programa de Cambio Climático. INECC, Semarnat. México. 2012. INECC, Semarnat. Coordinación General de Cambio Climático y Desarrollo Bajo en Carbono. INECC, Semarnat. México, 2015. INECC, Semarnat. Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INECC, Semarnat. México. 2015.

Como lo muestra la figura anterior, las emisiones por fuentes y sumideros para los sectores son: 1) generación eléctrica, 2) petróleo y gas, 3) fuentes móviles de autotransporte y no carreteras, 4) industria, 5) agropecuario, 6) uso del suelo, cambio del uso de suelo y silvicultura (USCUS), 7) residuos y 8) residencial y comercial. Los GEI incluidos son el bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆) y carbono negro (CN) “compuesto de vida corta que más ha contribuido al calentamiento global después del CO₂.”

De acuerdo a lo anterior, la emisión nacional de gases y compuestos de efecto invernadero en 2013 fue de 665 mil toneladas de CO₂ equivalente. Las actividades con mayor emisión de GEI fueron en ese año las fuentes móviles (26%), la generación de energía eléctrica (19%) y las industriales (17%).

2.2. La Costa de Hermosillo

2.2.1. Generalidades

Los antecedentes de la Costa de Hermosillo se remontan a principios del siglo XX, cuando en ella se realizaba una agricultura de temporal con las aguas que escurrían por el cauce del río Sonora. Moreno (2006) menciona que grupos colonizadores establecieron las primeras granjas y zonas de cultivo. En la década de los 40 se abren los primeros campos agrícolas, basados en el riego por bombeo de agua subterránea profunda y cuya región llegó a conformarse como una de las zonas agrícolas más importantes en la entidad (West, 1993).

La agricultura en la región es sustentada principalmente por el agua extraída del acuífero de la Costa de Hermosillo. Dicha actividad, está expuesta al clima semidesértico donde se presentan las siguientes condiciones: temperatura media anual de 24 °C con oscilación de entre -3 °C como mínima y 46 °C como máxima; la precipitación media anual es de 200 milímetros (mm), con lluvias escasas que ocurren sobre todo en el verano. Asimismo, la tasa de evapotranspiración es muy alta (en especial hacia las partes bajas de los ríos que alimentan la zona), que llega incluso a 2,560 mm (CONAGUA 2002).

Méndez (2017), menciona que la Costa de Hermosillo Sonora México, es una región que ha cultivado fundamentalmente productos de exportación desde mediados de la década de los años 1940, con una extracción de agua subterránea que rebasa con mucho la capacidad de recarga del sistema acuífero; el cual fue impactado ambientalmente a tal grado que siendo un acuífero costero, permitió la penetración de agua de mar en forma de intrusión marina, deteriorando la calidad y minando el volumen de almacenamiento del agua subterránea del mismo.

El factor que ha hecho posible la existencia de actividad agrícola en la Costa de Hermosillo aun con su clima semidesértico y poca precipitación, ha sido la existencia de las enormes reservas acumuladas en el acuífero subterráneo a lo largo de sucesivas eras geológicas. En 2001, la agricultura de la Costa de Hermosillo se sustentaba por el bombeo de 498 pozos

profundos administrados por la Asociación de Usuarios del Distrito de Riego 051 (Monreal, R. et. al., 2001). Sin embargo la reserva hidrogeológica ha requerido de solo un lapso de cincuenta años de irracional explotación para encontrarse entre el centenar de acuíferos sobre explotados en el país (Jiménez & Marín, 2004).

2.2.2. Consecuencias del Cambio Climático en la región de la Costa de Hermosillo

Debido a que el CC afecta tanto los sistemas físicos, biológicos y humanos (IPCC, 2014), se puede decir que dichos sistemas están siendo afectados a nivel regional. En el caso de la Costa de Hermosillo por ser una región principalmente agrícola, los efectos del CC alejarían cada vez más a la región de ser un sistema de producción agrícola sustentable, pues los efectos se presentarían tanto el factor económico, como en el social y ambiental (Tabla 4). La Tabla 5, enfatiza la problemática producto del fenómeno de la sequía.

Tabla 4. Posibles consecuencias del Cambio Climático, sobre la región de la Costa de Hermosillo.

Económico	Ambiental	Social
La gestión del agua para algunas regiones con escasez natural, ya complicada por el crecimiento demográfico y económico, propondrá retos aún mayores como consecuencia del CC (IMTA, 2007).		
La vid, el nogal, el trigo, la sandía, el garbanzo, la naranja y la calabaza forman la lista de los principales cultivos en explotación en la Costa de Hermosillo, representando el 80% de la superficie sembrada, 85% del valor total de la producción y 92% del consumo de agua en la región (Salazar <i>et al.</i> , 2012).	Los registros de observaciones y las proyecciones climáticas aportan evidencia de que los recursos hídricos son vulnerables y pueden resultar gravemente afectados por el CC (Bates <i>et al.</i> , 2008).	De las 393 personas fallecidas en territorio nacional por calor natural excesivo de 2002 a 2010, más de una tercera parte eran trabajadoras del sector primario, y en su gran mayoría murieron en Sonora (Díaz <i>et al.</i> , 2014)
Los órganos reproductivos son particularmente sensibles: los eventos de calor extremo durante la floración o polinización, aunque sean de corta duración, pueden reducir severamente una cosecha. (Araus <i>et al.</i> , 2008; Semenov and Halford 2009).	De acuerdo con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2007), se prevé que muchas áreas semiáridas y áridas estarán particularmente expuestas a los efectos del CC, y experimentarían una disminución de sus recursos hídricos.	El CC está incrementando el número de la migración forzada. (Bogumil, T., 2012).

Fuente 1. Elaboración de la autora, en base a bibliografía anexa.

Tabla 5. Problemática por la sequía.

Impacto	Caracterización
Meteorológico	Ausencia de lluvia en no más de unas pocas semanas. Entre las consecuencias ambientales están las temperaturas altas, humedad baja en el ambiente y vientos fuertes; en general, sus efectos se manifiestan en malestar corporal, y puede producir daños a la salud.
Agrícola	De carácter estacional, relativo a la duración del desarrollo fenológico de los cultivos. Se caracteriza por humedad insuficiente en forma natural en el suelo, que se manifiesta por desarrollo vegetativo menor o nulo, y por ende, en bajas en los rendimientos. El carácter estacional no es que dure una estación determinada, sino que se presente en un periodo que se esperaría fuera lluvioso.
Hidrológico	De largo plazo, que puede extenderse por varios años; caracterizada por una baja perceptible en caudal o volumen en los niveles de ríos, presas y acuíferos. La reducción de lluvia ocasiona la disminución de los escurrimientos, lo cual provoca descenso de nivel y volumen en los cuerpos receptores, incluso hasta situaciones críticas en las que las presas y lagos se sequen, así como que el nivel de los acuíferos disminuya sensiblemente.
Biótico	En general se manifiestan por la disminución sensible en flora y fauna. Esta alteración por sí sola es factor detonante de la desertización, y combinada con la actividad humana produce fenómenos prácticamente irreversibles, y que pueden tener consecuencias catastróficas para la sociedad y el ambiente.
Económico	Es la relacionada con los efectos de pérdida de ingreso y productividad en aquellas actividades cuyo insumo es el agua. Es la afectada directamente por el grado de dependencia del recurso en tiempo y volumen, de las necesidades mínimas a satisfacer, de su importancia como insumo en los procesos productivos, etcétera. El deterioro por subutilización del aparato productivo ocasiona disminución o pérdida de ingresos y empleos, así como carestía de los productos, todo lo cual tiene un efecto social inmediato.
Social	La gravedad del fenómeno se aprecia tanto en consecuencias mínimas fácilmente superables, como en casos extremos, grandes hambrunas y muerte masiva por desnutrición y sed; pérdida de empleos y poder adquisitivo, carestía de productos y servicios, migración del campo a las ciudades, abandono y deterioro del campo y aumento de la pobreza son entre otras, las consecuencias comunes de la sequía, cuyos efectos son más devastadores que otros fenómenos naturales, y la recuperación es lenta, larga y costosa.

Fuente: Elaboración de la autora utilizando información de Velasco (2005).

III. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

3.1. Área de estudio

El área de estudio (Figura 6), es una planicie costera en donde se desarrolló una actividad agrícola que alcanzó 169,593 has, donde los cultivos anuales y perenes ocuparon alrededor de 53,000 ha anuales, irrigadas por medio de alrededor de 500 pozos profundos. El clima es árido con una precipitación media anual que ronda los 200 mm. La estación de lluvia se presenta de julio a septiembre (esta lluvia representa aproximadamente el 70 % de la precipitación anual). Las temperaturas diarias medias oscilan entre los 22°C y 24°C, con heladas esporádicamente en invierno y temperaturas frecuentemente superiores a 45°C desde el final de la primavera hasta el verano (Rodríguez *et al.*, 2010).

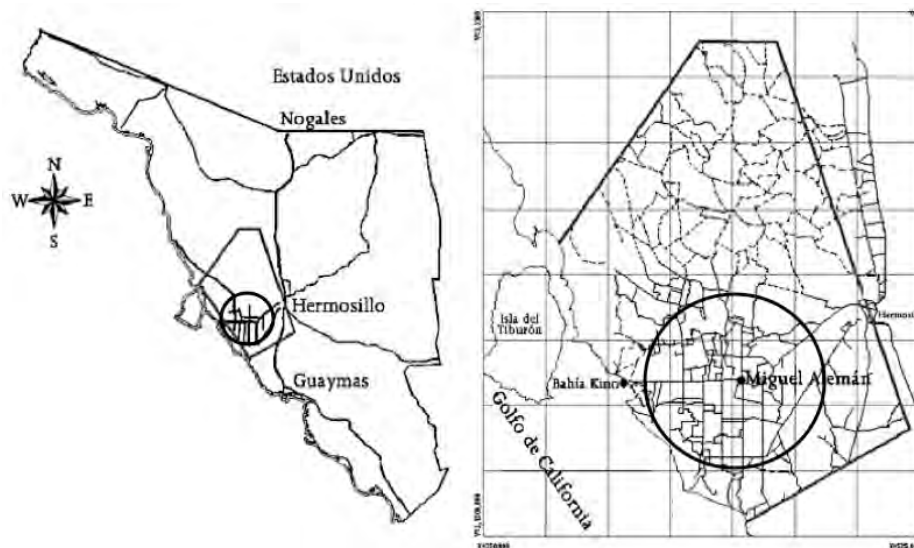


Figura 6. Área de Estudio (Costa de Hermosillo). Representación en polígono circular. El pentágono irregular representa la delimitación del acuífero. Fuente: Modificado de Monreal *et al.* (2002).

La Figura 6, también muestra las delimitaciones del acuífero Costa de Hermosillo. Este acuífero sostiene la actividad agrícola desde mediados de la década de los 40. Según Monreal *et al.* (2002), esta unidad hidrogeológica no solo posee aguas de origen meteórico, sino que también contiene agua fósil con edad de 26,000 a 30,000 años. El mismo autor señala que su recarga media anual es equivalente a 250 hm³ de los cuales 98.4 hm³ son

corresponden a la intrusión salina. El resto del agua, se concesiona según Quevedo (2007), en 23.36 hm³ (público urbano), 1.18 hm³ (industrial) y 0.97 hm³ (pecuario). Esto significa, que solo están disponibles 126.09 hm³ para uso agrícola. Por otra parte, las extracciones superan los 400 hm³ (Quevedo, 2007); por lo que su condición actual es de sobreexplotado.

3.2. Métodos

La estrategia metodológica, se planteó en base a diversas cuestiones (Tabla 6).

Tabla 6. Cuestiones acerca del Cambio Climático, sobre la región de la costa de Hermosillo.

Cuestiones		Justificación de Cuestiones
¿El CC, está presente en la región de la Costa de Hermosillo?	¿La temperatura ha sufrido alteraciones? (Nivel anual y estacional)	El CC global actual se manifiesta a través del incremento de la temperatura, los cambios en la precipitación (tanto en intensidad como en su distribución temporal y espacial), la intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, el deshielo de los glaciares y el incremento del nivel del mar, entre otros (Semarnat, 2016). El Grupo Intergubernamental sobre CC (IPCC, por sus siglas en inglés) define el CC como “...todo cambio en el clima a través del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas” (IPCC, 2007a).
	¿La precipitación ha sufrido alteraciones? (Nivel anual y estacional)	
	¿El comportamiento de fenómenos meteorológicos extremos (sequía) presenta comportamiento anómalo?	A diferencia de la aridez, que puede ser una condición natural de una región, la sequía se considera como una condición climática temporal, en la cual el nivel de la precipitación es significativamente menor a la normal, lo que puede ocasionar serios desequilibrios hidrológicos que afectan negativamente a los sistemas ecológicos y productivos (UNCCD, 1996).
	¿El cultivo de la vid está siendo afectado?	Dentro de los factores permanentes de la producción vitícola, el clima es posiblemente el que con mayor intensidad determina las posibilidades y la vocación vitícola del medio, en relación con las exigencias de las variedades de vid cultivadas y los destinos de producción (Hidalgo e Hidalgo, 2011).
	¿El acuífero está siendo afectado?	Los registros de observaciones y las proyecciones climáticas aportan evidencia de que los recursos hídricos son vulnerables y pueden resultar gravemente afectados por el CC (Bates <i>et al.</i> , 2008). De acuerdo con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2007), se prevé que muchas áreas semiáridas y áridas estarán particularmente expuestas a los efectos del CC, y experimentarían una disminución de sus recursos hídricos.
¿Cómo responder al CC?		Estrategias de mitigación y adaptación al CC (Semarnat, 2016).

Fuente: elaboración de la autora, en base a información de bibliografía anexa.

Según la Tabla 6, al encontrar evidencia anómala sobre un intervalo de 30 años como lo mencionan Baede, A.P.M., (2015) y Shepherd. *et al.*, (2005) en alguna de las variables del clima antes mencionadas (temperatura, precipitación y/o comportamiento de la sequía) se puede decir que el CC está presente en la región de la Costa de Hermosillo y debido a ello, el cultivo de la vid está siendo afectado en sus fases fenológicas, así como su sustento hidrogeológico (el acuífero). Por lo que será necesario establecer estrategias de mitigación y adaptación al CC.

3.2.1. Comportamiento de la temperatura.

Por lo descrito en Tabla 6, de inicio se procedió a analizar el comportamiento de las temperaturas con el propósito de encontrar un incremento significativo de las mismas y así justificar la presencia del CC en la región de estudio. Después, se optó por verificar si dicho fenómeno tiene un efecto positivo o negativo sobre las temperaturas óptimas de las fases y procesos fenológicos del cultivo de la vid; así como también, sobre la ETo que resulta influyente al acuífero (Figura 7).

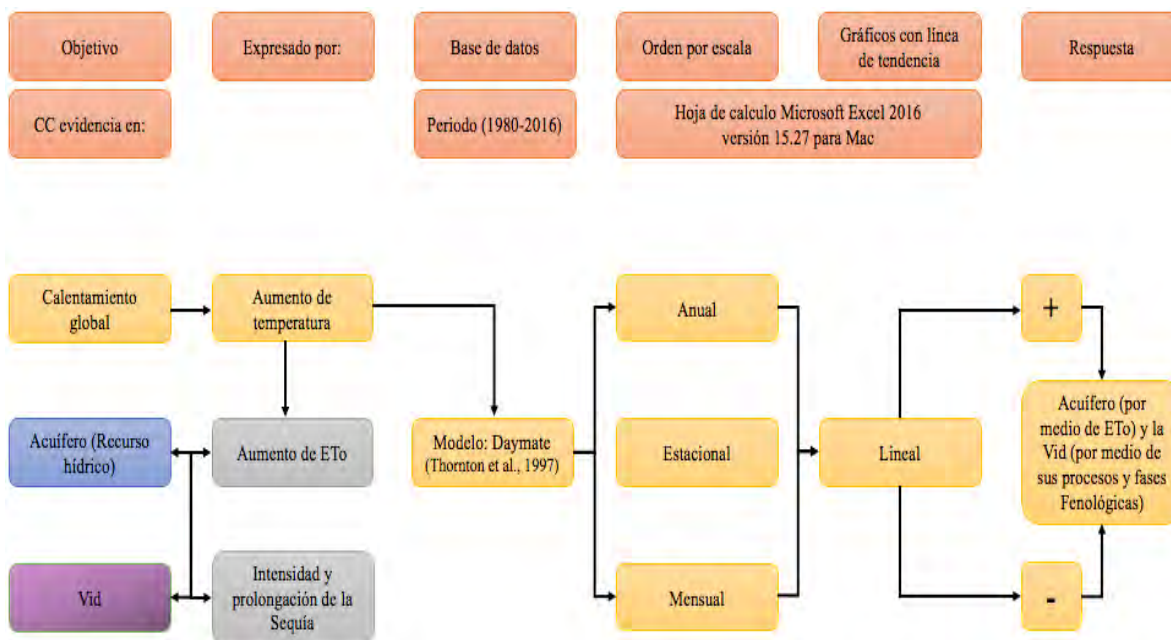


Figura 7. Modelo conceptual de anomalías en la temperatura en la región de la Costa de Hermosillo. En amarillo, ruta hacia una respuesta positiva o negativa sobre la ETo y los procesos y fases fenológicas del cultivo de la vid. En azul y morado posible efecto sobre los recursos hídricos y el cultivo de la vid, expresado por la ETo y la sequía en gris. Fuente: Elaboración de la autora.

3.2.1.1. Modelo Daymate

Para conocer posibles cambios en la temperatura, se optó por utilizar el modelo Daymate desarrollado por el Dr. Peter Thornton. Este es una colección de algoritmos y software de computadora diseñados para interpolar y extrapolar a partir de observaciones meteorológicas diarias para producir estimaciones cuadrículadas de parámetros climáticos diarios. Los parámetros meteorológicos generados incluyen superficies diarias de temperatura mínima y máxima, precipitación, humedad y radiación producidas en una superficie cuadrículada de 1 km x 1 km. Las entradas del modelo requerido incluyen un modelo de elevación digital y observaciones de la temperatura máxima, la temperatura mínima y la precipitación de las estaciones meteorológicas terrestres. Este método, se basa en la convolución espacial de un filtro de ponderación gaussiano truncado con el conjunto de ubicaciones de estación. La sensibilidad a la distribución típica heterogénea de estaciones en terreno complejo se logra con un algoritmo de densidad de estación iterativa (Thornton *et al.*, 1997).

Las variables de salida de Daymet incluidas para la distribución son la temperatura mínima y máxima, la precipitación, la presión de vapor de agua, la radiación de onda corta y el equivalente de agua de nieve. En el algoritmo, se realizan análisis empíricos espacialmente y temporalmente explícitos de las relaciones de temperatura y precipitación con la elevación. Además, se introduce un algoritmo de ocurrencia de precipitación diaria, como precursor de la predicción de la cantidad de precipitación diaria (Thornton *et al.*, 2000).

El modelo de Daymet requiere observaciones terrestres referenciadas espacialmente de temperaturas y precipitaciones máximas y mínimas diarias. Para Daymet V3, las observaciones de superficie estaban disponibles en una sola fuente; la Global Historical Climatology Network (GHCN) –Datos diarios distribuidos por los Centros Nacionales de Información Ambiental (NCEI) (Menne *et al.*, 2012). Las observaciones de superficie que ocurren dentro de México fueron adquiridas por GHCN-D a través del Servicio Meteorológico Nacional. Mediante un acuerdo con GHCN-D, estos datos se procesaron a través de las mismas medidas de QA / QC que todos los datos GHCN-Daily, lo que garantiza

una procedencia de datos más sólida. Se ensambla un archivo por año para cada año y se ingresa en el algoritmo del modelo Daymet.

El conjunto de estaciones de observación de la superficie del suelo que se introducen para los métodos de interpolación se recoge de las estaciones espaciadas de forma heterogénea de los datos de entrada de tres archivos de entrada separados de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación. El método de interpolación en cada punto de predicción se logra a través de una estimación iterativa de la densidad de estación local utilizando la convolución espacial de un filtro gaussiano truncado como se describe en Thornton *et al.*, 1997. En él, se establece un sistema en el que el radio de búsqueda de las estaciones se reducen en las regiones ricas en datos y aumentan en las regiones con pocos datos. Esto se logra al especificar un número promedio de observaciones que se incluirán en cada punto. La distancia de búsqueda de las estaciones se varía como una función suave de la densidad de la estación local. El resultado es una coincidencia perfecta de datos grillados para mosaicos adyacentes.

El acceso a los datos de Daymet, está disponible a través de herramientas especializadas, servicios web y descargas directas que permiten un recurso rico en datos meteorológicos de superficies puntuales y cuadrículados y resúmenes climatológicos. La forma en que un usuario accede a los datos dependerá de sus necesidades; para este estudio, se utilizó la herramienta de extracción de un solo pixel.

3.2.1.1.1. Herramienta de extracción de un solo pixel

Desde la herramienta de extracción de un solo píxel, los datos de superficie diaria dentro de la base de datos de Daymet se pueden descargar en formato de tabla para un único punto. Esta opción de acceso a datos permite a los usuarios ingresar un punto geográfico por latitud y longitud en grados decimales (Figura 8). Se ejecuta una rutina que traduce las coordenadas (lon, lat) en las coordenadas proyectadas de Daymet (x, y). Estas coordenadas se utilizan para acceder a la base de datos de Daymet de variables meteorológicas superficiales interpoladas diariamente.

Los datos diarios de la celda de cuadrícula de Daymet más cercana de 1 km x 1 km se extraen de la base de datos y se formatean como una tabla con una columna para cada variable de Daymet y una fila para cada día. Todos los datos diarios para años seleccionados se devuelven como una tabla única (larga), formateada para mostrarse en la ventana del navegador. En la parte superior de esta tabla hay un enlace a los mismos datos en un formato de texto simple, adecuado para importar en una hoja de cálculo u otro software de análisis de datos. Las variables de Daymet incluidas en el registro son; para cada día, temperatura máxima y mínima, precipitación, radiación de onda corta, presión de vapor de agua, equivalente de agua de nieve y duración del día.

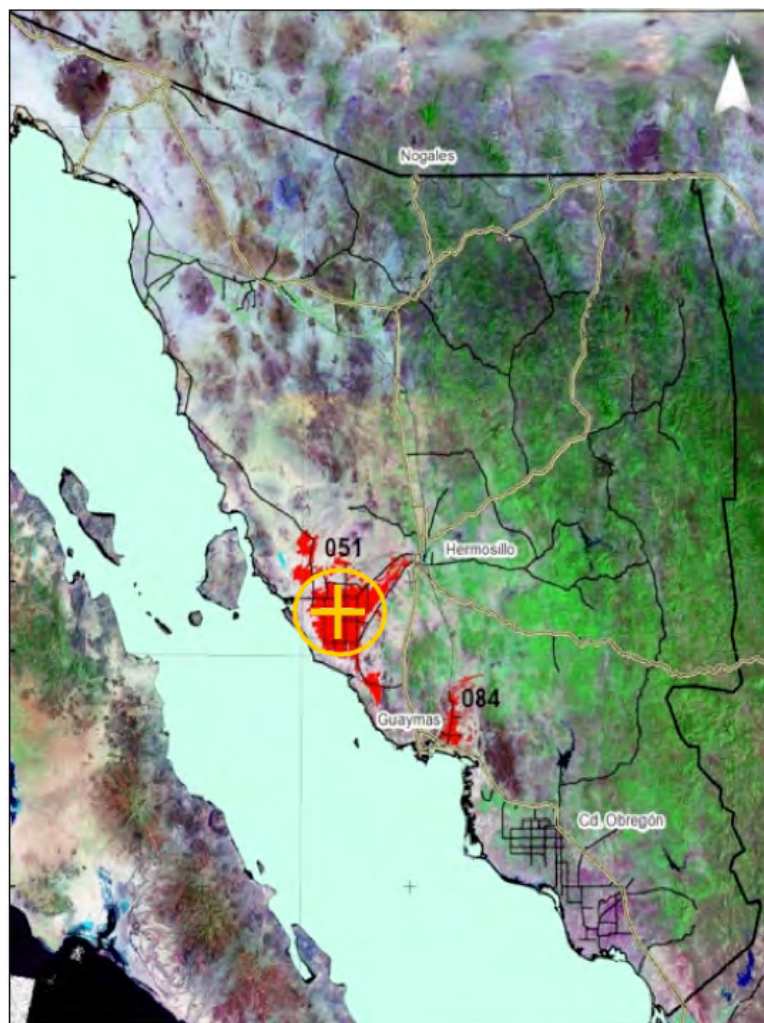


Figura 8. Coordenadas de la Costa de Hermosillo. Latitud: 28.7035 y Longitud -111.4235 representadas por la intersección de la cruz amarilla. Fuente: CONAGUA, 2009. Modificado de Luna-Salazar, CEDES.

3.2.1.2. Ordenamiento de datos Daymate en hoja de cálculo

Para el ordenamiento de datos (Precipitación y temperatura “máxima, promedio y mínima”) equivalente a 36 años de datos (1980-2016) se utilizó la hoja de cálculo de Microsoft Excel 2016 versión 15.27 para Mac. Los datos fueron ordenados a escala anual, estacional y mensual (Tabla 7).

Ya ordenados los datos, se procedió a graficarlos de forma lineal con el propósito de trazar y observar una línea de tendencia sobre las variables ya mencionadas; creando así una línea recta de ajuste perfecto para conjuntos de datos lineales simples. Los datos son lineales si el patrón en sus puntos de datos son similares a una línea. De esta forma se puede mostrar que hay algo que aumenta o disminuye a un ritmo constante inclusive hacia el tiempo futuro. Una línea de tendencia lineal usa la ecuación (4) para calcular el ajuste de mínimos cuadrados para una línea.

Tabla 7. Ordenamiento de datos (temperaturas) por escala.

Escala	Días	Periodo
Anual	365 (en su caso 366)	1980-2016
Estacional	Primavera: 92 días	
	Verano: 92 días	
	Otoño: 91 días	
	Invierno: 90 días (en su caso 91)	
Mensual	30, 31 ó 28 (en su caso 29) días dependiendo del mes	

Fuente: Elaboración del autor con datos del Daymate (Thornton et al., 1997). En su caso se aumenta un día por año bisiesto.

3.2.1.3. Comparación de temperaturas obtenidas del modelo Daymate con fases fenológicas del cultivo de la vid

Como la agricultura y el CC, son procesos relacionados entre sí (IPCC, 2007); y dentro de los factores permanentes de la producción vitícola, el clima es posiblemente el que con mayor intensidad determina las posibilidades y la vocación vitícola del medio (Hidalgo e Hidalgo, 2011). Se procedió a comparar el comportamiento del clima (en la variable de temperatura según la recopilación de datos del Daymate) de la región de la Costa de Hermosillo con la diferentes fases fenológicas, el proceso fotosintético así como la acumulación de horas frío del cultivo de la vid (Tabla 8).

Tabla 8. Temperatura óptima del cultivo de la vid, en sus diferentes fases y procesos.

Fase o proceso fenológico	Mes (es)	Temperatura optima	Periodo
Acumulación de horas frío	Diciembre-Enero	Temperaturas $\leq 10^{\circ}\text{C}$	1980-2016
Fotosíntesis	Enero-Junio	25 – 30 $^{\circ}\text{C}$	
Brotación	Enero	8-12 $^{\circ}\text{C}$	
Floración	Marzo	18-22 $^{\circ}\text{C}$	
Envero	Abril-Mayo 15	22-26 $^{\circ}\text{C}$	
Maduración	Abril-Mayo 15	20-24 $^{\circ}\text{C}$	
Cosecha	Mayo 15-Junio 15	18-22 $^{\circ}\text{C}$	

Fuente: Elaboración de la autora en base a información de Reynier (1995). Expresión de procesos y fases fenológicas según la región de la Costa de Hermosillo.

De acuerdo con Reynier (1995), la temperatura es el factor determinante para cada evento fenológico, el autor concuerda con Branas *et al.*, (1946) quienes mencionan que la temperatura es el factor climático más importante para definir la época y velocidad de las distintas fases fenológicas de la vid. Ya que tanto las fases fenológicas como el proceso fotosintético del cultivo, además de la acumulación de horas frío, presentan un rango óptimo de temperatura para el eficaz desarrollo y producción de la planta.

La comparación se llevó a cabo utilizando graficas lineales con respecto a cada uno de los procesos o fases fenológicas de la vid, para así visualizar el aumento o disminución de los rangos de temperatura óptimos. Para ello se utilizó la formula CONTAR.SI de hoja de cálculo de Microsoft Excel 2016 versión 15.27 para Mac. Dicha fórmula cuenta un determinado número de celdas según un rango y criterio asignados.

3.2.1.4. Comportamiento de la evapotranspiración de referencia (ET_o)

En la gestión de recursos hídricos uno de los problemas más urgentes a atender es la competencia por agua entre usuarios urbanos, industriales, agropecuarios y ecológicos, especialmente en las zonas áridas y semiáridas, donde la disponibilidad de este recurso es limitado y las necesidades incrementan de manera continua (Bittelli, 2010; Soulis *et al.*, 2015). Una forma de cuantificar la demanda de agua de los cultivos, producto de los cambios atmosféricos, es mediante la estimación o medición de la evapotranspiración (ET) (Román *et al.* 2017).

Para los cálculos de evapotranspiración real de los cultivos (ETc), es necesario primero calcular la evapotranspiración potencial (ETP), más conocida actualmente como evapotranspiración de referencia (ETo). Allen *et al*, (1998) se refieren a la evapotranspiración de referencia como “*la evapotranspiración desde una superficie de un cultivo hipotético de 0,12 m de altura, 70 s/m de resistencia y 0,23 de albedo, la cual se asemeja a una superficie extensa de grama verde, de altura uniforme, en crecimiento y sin limitaciones de agua*”.

Debido a lo anterior se procedió a calcular la ETo mediante la fórmula (5), utilizando los datos de temperatura tomados del Daymate, con el propósito de encontrar un posible aumento en ETo en el periodo de tiempo 1980-2016, que por ende incrementa la evapotranspiración real de los cultivos (ETc), demandándose así un mayor volumen de agua proveniente del acuífero de la Costa de Hermosillo para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos.

$$ETo = 0,0023 Ra/\lambda (T_{media} + 17,8) (T_{max} - T_{min})^{0,5} \text{ en [mm/día]} \quad (5)$$

Donde; T = temperatura media en °C calculada por $(T_{max} + T_{min})/2$; T_{max} , T_{min} = temperatura media de las máximas y temperatura media de la mínimas, respectivamente en, °C; Ra = radiación extraterrestre (en la cima atmosférica) sobre superficie horizontal en (MJ/m² día); y, λ = calor latente de vaporización (MJ/Kg). λ , = 2,45 MJ/Kg a 20 °C.

Según Guevara 2006), la fórmula anterior correspondiente a Hargreaves (o Hargreaves – Samani), se puede utilizar para estimar ETo cuando solo se cuenta con datos disponibles de temperaturas máximas y mínimas (los datos de temperaturas fueron obtenidos mediante el modelo Daymate). Dicha fórmula es válida para periodos mensuales, semanales y de 10 días.

3.2.2. Comportamiento de la Sequía

El modelo conceptual en Figura 9, muestra el método utilizado para llevar a cabo el análisis de la sequía.

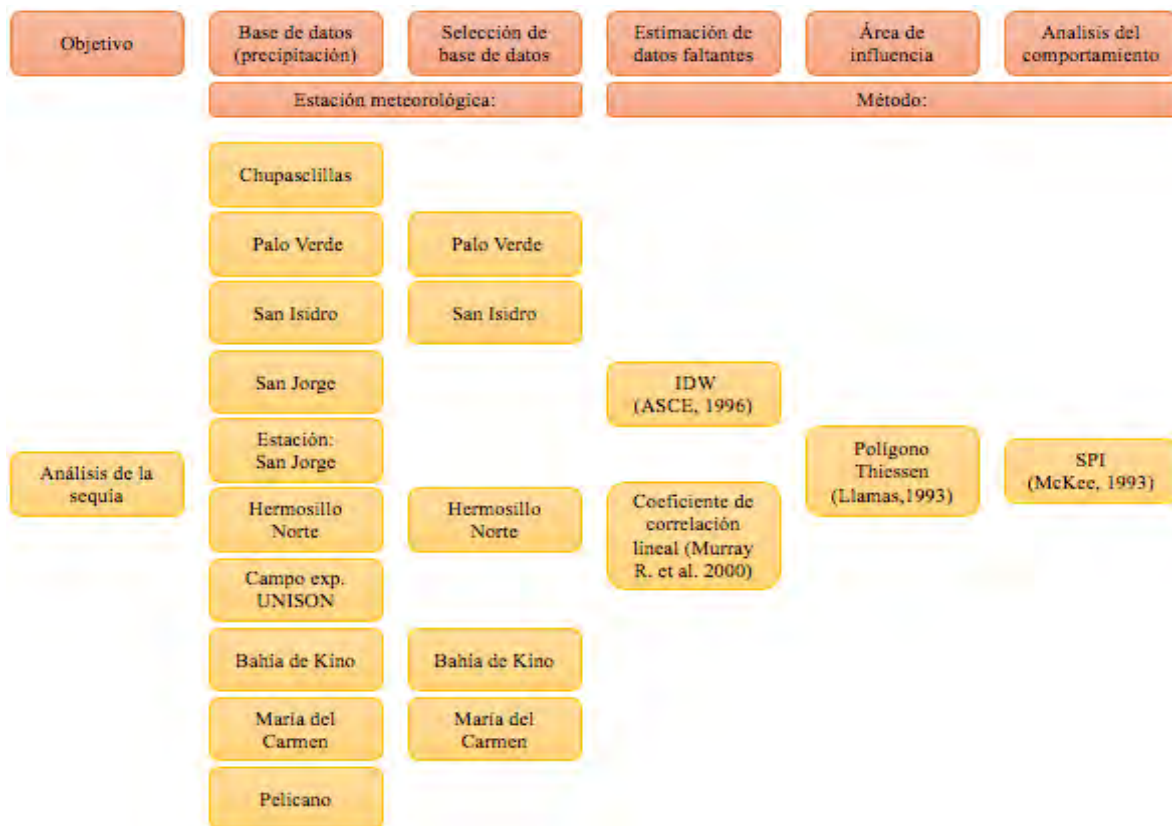


Figura 9. Modelo conceptual para el análisis de la sequía. Fuente: elaboración de la autora con base en bibliografía anexa.

Como se aprecia en la figura anterior, para el análisis de la sequía se inició con la recopilación de datos (precipitación) de 10 estaciones meteorológicas, para posteriormente seleccionar las 5 estaciones más completas y proseguir con las estimación de sus datos faltantes y así, calcular sus áreas de incidencia para después finalizar con una evaluación conforme al índice estandarizado de precipitación (SPI); con propósito de encontrar evidencia de su impacto como CC que por ende pueda poner en riesgo los recursos hidrogeológicos (acuífero) y la producción agrícola (énfasis en el cultivo de la vid).

3.2.2.1. Selección y ordenamiento de datos.

Se revisaron 10 estaciones climatológicas (Tabla 9) localizadas sobre el área de estudio administradas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Se seleccionaron únicamente las que cuentan con datos confiables de precipitación. Dichos datos generalmente

muestran interrupciones en la medición, aunque son los datos con más consistencia en el registro para todas las estaciones.

Tabla 9. Estaciones meteorológicas en la Costa de Hermosillo.

Clave	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud	Periodo	Años con datos	% Años sin datos
26026	Chupasclillas	28°41'36"N	111°30'15"O	40.0 MSNM	4/05/1954 - 22/10/1986	32	
26066	Palo Verde	28°47'44"N	111°21'56"O	79 MSNM	11/01/1963 - 31/01/2012	49	29.06
26082	San Isidro	28°49'34"N	111°39'32"O	30 MSNM	17/08/1956 - 30/04/2014	57.7	14.83
26084	San Jorge	28°40'00"N	111°36'00"O	25.0 MSNM	1/01/1966 - 31/10/1981	15	
26085	San José	28°50'18"N	111°39'42"O	29.0 MSNM	1/01/1966 - 30/06/1986	20	
26139	Hermosillo Norte	29° 05'56"N	110°57'15"O	221 MSNM	01/01/1973 - 30/11/2014	41.92	0
26174	Campo Exp. Unisón	29°00'52"N	111°07'56"O	154 MSNM	14/08/1981 - 30/09/1998	17	
26179	Bahía de Kino	28°49'22"N	111°56'12"O	2 MSNM	01/07/1974 - 31/08/2014	40.16	48.98
26196	María del Carmen	28°54'13"N	111°33'18"O	54 MSNM	01/07/1974 - 31/08/2014	40	9.55
26310	Pelicano	28°32'19"N	111°23'10"O	30 MSNM	1/10/1987 - 31/07/2010	23	

Fuente: Elaboración del autor con datos de CONAGUA. En gris estaciones seleccionadas.

3.2.2.2. Estimación de datos faltantes.

Los datos o valores faltantes de un registro de lluvias son bastante frecuentes y se deben a una gran variedad de causas. Por ejemplo, debido a desperfectos en el equipo de mediciones, por enfermedad o sustitución del encargado de las observaciones, por interrupciones debido a limitaciones presupuestales, etc. En general, los datos faltantes son estimados en base a los registros de las estaciones cercanas (D.F. Campos Aranda, 1998).

Para completar los datos faltantes (Tabla 9), primero se realiza una obtención de datos sintéticos a nivel mensual, para luego obtener la precipitación total anual. Si los datos lo permiten, diversos autores señalan que este método es más confiable y preciso (Pizarro 1996; Lucero 1997).

En la guía de prácticas climatológicas de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1983), se propone el siguiente método estadístico de ponderación de distancia inversa IDW según ASCE (1996), para el relleno de datos faltantes. También conocido como el método U.S. National Weather Service por su implementación en estudios hidrológicos y geográficos. Aparicio (2011) y Campos (1998) indican que este método puede emplearse cuando se basa en registros simultáneos de tres estaciones que se encuentren lo más cerca posible a la estación en estudio (Tabla 10). Una ventaja importante de la IDW es que se utiliza en cualquier paso de tiempo (Teegavarapu y Chandramouli, 2005).

Tabla 10. Distancia en Km, entre estaciones meteorológicas en la Costa de Hermosillo.

Estaciones	Bahía de Kino	Hermosillo Norte	María del Carmen	Palo Verde	San Isidro	San Jorge	San José	Chupasclillas	El Pelicano	Campo Exp. UNISON
Bahía de Kino	-	100.54	38.3	55.83	27.11	37.17	26.9	42.62	62.35	81.27
Hermosillo Norte	100.54	-	62.44	52.35	75.05	79.15	74.76	69.99	75.06	19.71
María del Carmen	38.3	62.44	-	21.99	13.31	42.75	12.69	23.83	43.69	43.02
Palo Verde	55.85	52.35	22.1	-	28.86	26.99	29.29	17.64	28.55	33.25
San Isidro	27.11	75.05	13.26	28.83	-	18.54	1.37	21.08	41.55	55.44

Fuente: Elaboración de la autora utilizando google earth. En color estaciones utilizadas para estimar datos faltantes (Bahía de Kino – Amarillo, María del Carmen – Anaranjado, Palo Verde – Verde y San Isidro – Azul).

3.2.2.2.1. Método U.S. National Weather Service.

Este procedimiento ha sido verificado tanto teórica como empíricamente y considera que el dato faltante en una cierta estación A, puede ser estimado en base a los datos observados en las estaciones circundantes. El método puede ser aplicado para estimar valores diarios, mensuales o anuales faltantes (D.F. Campos Aranda, 1998). Se recomienda utilizar cuatro estaciones auxiliares (las más cercanas) y de manera que cada una quede localizada en uno de los cuadrantes que definen unos ejes coordenados que pasan por la estación incompleta, generalmente los ejes norte-sur y oriente-poniente (D.F. Campos Aranda, 1998).

El método consiste en ponderar los valores observados en una cantidad W, igual al recíproco del cuadrado de la distancia (D) entre cada estación vecina y la estación A. La lluvia buscada P_x será igual a:

$$P_x = \sum (P_i \cdot W_i) / \sum W_i \quad (1)$$

Donde; P_i = precipitación observada para la fecha de la faltante, en las estaciones auxiliares circundantes (pueden ser como mínimo 2), en milímetros. $W_i = 1/D_i^2$, siendo D_i la distancia entre cada estación circundante y la estación incompleta, en km.

3.2.2.2.2. Método Coeficiente de Correlación Lineal

A menudo se encuentra que existe una relación entre dos (o más) variables, y se desea expresar esta relación en forma matemática determinando una ecuación que relacione las variables (Murray R. *et al.*, 2000). Como resultado este método proporciona un valor que varía entre 0 y uno. Si el coeficiente es > 0.9 entonces se puede decir que es una buena correlación mientras que un valor menor a 0.3 indica que las variables no están correlacionadas y cuando hablamos de un valor igual a 1 la correlación es perfecta.

$$Y = mx + b \quad (2)$$

Donde; Y = es el índice de correlación, mx = es la pendiente y b = intersección con el eje.

3.2.2.3. Método de elaboración de polígono Thiessen

Sheng (1992), dice que los datos de precipitaciones son probablemente el factor más importante en cuanto a recursos hídricos, producción de cultivos, escorrentía y erosión, utilizándose normalmente tres métodos para calcular las precipitaciones medias que caen sobre la cuenca hidrográfica, los cuales son: la media aritmética, el polígono Thiessen y el método de las isohietas. Sin embargo, Llamas (1993) menciona que uno de los métodos más utilizados para medir las precipitaciones medias regionales es Thiessen. Además Fernández (1995), menciona que el análisis espacial de las precipitaciones tiene como objetivo establecer relaciones existente entre los valores puntuales, registrados en los diferentes observatorios y los factores que los determinan tradicionalmente se han usado dos métodos entre ellos el de polígonos Thiessen. En este método a cada estación se le asigna una

superficie, la cual es obtenida representando las estaciones en un plano, las que luego se unen a través de rectas. A estas rectas posteriormente se les trazan sus mediatrices hasta que se intersecten entre sí. Con los límites del área geográfica en estudio y el límite que definen las mediatrices, se obtiene la superficie de influencia asignada para cada estación (Lynch y Schulze, 1997).

$$P_{mj} = \frac{\sum_{j=1}^n S_i \cdot P_{ij}}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (3)$$

Donde; P_{mj} = Precipitación media del área de estudio en el tiempo j . (mm); S_i = Superficie de influencia de la estación i . (km^2); y P_{ij} = Precipitación de la estación i en el tiempo j . (mm).

Para obtener el polígono se utilizó el programa ArcGis, en base a datos tomados del google earth (formando el polígono a medir) en el cual tienen influencia las estaciones. El programa ArcGis comprende una serie de aplicaciones, que utilizadas en conjunto, permiten realizar funciones que alimentan y administran un sistema de información geográfica (SIG), desde creación de mapas, manejo y análisis de información, edición de datos, metadatos y publicación de mapas en la Internet.

3.2.2.4. Método para evaluar el comportamiento de las precipitaciones (SPI)

De los índices que actualmente se utilizan para vigilar la sequía, el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI por sus siglas en inglés) también conocido como el Índice Normalizado de Precipitación es uno de los más utilizados en más de 70 países. Este índice creado por McKee en 1993 destaca por la sencillez, facilidad de cálculo y su significado desde el punto de vista estadístico, además de la relación de los déficits de precipitación con los diferentes

impactos en las aguas subterráneas, el almacenamiento de agua en reservorios, en la humedad del suelo, los bancos de nieve y los caudales fluviales que lo hacen altamente aceptado en los estudios de la sequía.

La sencillez del SPI radica en que utiliza únicamente la precipitación para su cálculo y es efectivo para analizar los períodos y ciclos húmedos y secos, a diferencia de otros como el Índice de Palmer. Los registros de precipitación se ajustan a una distribución de probabilidades y a continuación se transforman en una distribución normal. Los valores positivos/negativos del SPI indican que la precipitación es mayor/menor que la media. Idealmente se requiere de un mínimo de entre 20 y 30 años de valores mensuales de precipitación para su cálculo, pero lo óptimo y preferible es utilizar 50 y 60 años o más de acuerdo con la Guía del usuario sobre este índice de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2012). Los inconvenientes es que únicamente puede cuantificar el déficit de precipitación.

El SPI cuantifica el déficit de precipitación para una gran variedad de escalas de tiempo lo que lo hace apto para estudiar sequías de diferentes duraciones, desde un mes (relevantes para la agricultura) a varios meses (relevantes para evaluar la disponibilidad de agua). El SPI es calculado ajustando la distribución de frecuencia de la precipitación con una función teórica de densidad de probabilidad (Mckee *et al.*, 1993). La función de densidad es luego transformada a una distribución normal estandarizada (con media 0 y varianza 1), siendo el SPI el resultado de esta transformación (Nuñez *et al.*, 2005).

La versatilidad temporal del índice es útil para determinar el comienzo y el fin de eventos secos que es una situación difícil de reconocer por medio de otros índices; además permite el análisis de los impactos de las sequías a distintas escalas temporales (Loaiza, *et al.*, 2014; Vicente & López, 2005; Vicente *et al.*, 2011; Vincent, 2007; Pasho *et al.*, 2011). A nivel mundial, de acuerdo con datos del NDMC, alrededor de 70 países utilizan el SPI para monitorear y analizar las sequías (Morales, 2005).

El SPI representa el número de desviaciones estándar que cada dato de precipitación se desvía del promedio histórico. Mawdsley, Petts y Walker, (1994), plantearon una clasificación de la sequía un según criterio ampliado (Tabla 11).

Tabla 11. Clasificación de la sequía según valores del SPI.

Clasificación de las sequías	Periodo de retorno (años)	Probabilidad de no excedencia $P(X < x)$
Ligera (SL)	2 – 5	0,50 – 0.80
Moderada (SM)	5 – 20	0.80 – 0.95
Severa (SS)	20 – 50	0.95 – 0-98
Extrema (SE)	> 50	> – 0.98

Fuente: Tomado de (Campos, 2015).

Por último, se llevó acabo también una representación de graficas lineales con línea de tendencia con el propósito de mostrar un posible aumento o disminución de la sequía a un ritmo constante inclusive hacia el tiempo futuro. Una línea de tendencia lineal según el coeficiente de determinación (R^2); basado en la suma de cuadrados total (SCT) y la suma de cuadrados residual (SCE):

$$R^2 = SCE / SCT \tag{4}$$

Según Martínez (2005), la ecuación permite determinar el coeficiente de determinación como la proporción o porcentaje de variación total en Y respecto a su media, que es explicada por el modelo de regresión. Es usual expresar esta medida en tanto por ciento, multiplicándola por cien; por su definición, es una medida acotada siendo sus límites “ $0 \leq R^2 \leq 1$ ”; es decir un R^2 igual a 1 significa un ajuste lineal perfecto, ya que $STC=SEC$, esto es, la variación total de la variable Y es explicada por el modelo de regresión. El valor cero indica la no representatividad del modelo lineal, ya que $SEC = 0$, lo que supone que el modelo no explica nada de la variación total de la variable Y .

IV. DISCUSION DE RESULTADOS

4.1. Cambio Climático en la Costa de Hermosillo

Por medio de los resultados obtenidos, fue posible conocer que el CC está presente en la región de la Costa de Hermosillo, pues en cada una de las variables evaluadas (temperatura y sequía), se encontró evidencia significativa que respalda que el CC se manifiesta y que sus efectos son notorios en los procesos y fases fenológicas de la vida (fotosíntesis, acumulación de horas frío, brotación, floración, envero y cosecha); así como también en el aumento de la evapotranspiración de referencia (ET_o) que se traduce en una mayor demanda de agua sobre los cultivos de la región que por ende significa un mayor número de m³, extraídos del acuífero.

4.1.1. Expresión del Cambio Climático como calentamiento global

Por medio de las siguientes figuras (10 – 14); se puede ver como el CC está presente en la región de la Costa de Hermosillo manifestándose a través del incremento de la temperatura.

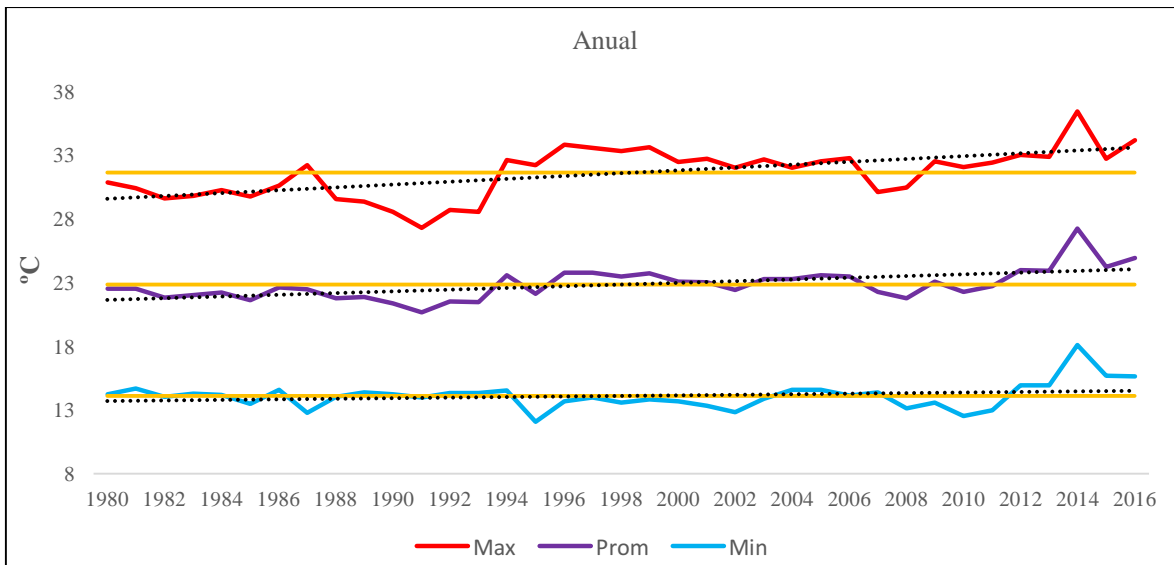


Figura 10. Expresión de la temperatura en la Costa de Hermosillo (Anual). La línea naranja muestra la media de cada expresión (Max, Prom y Min). La línea punteada muestra la tendencia de las expresiones a futuro. En base a datos (temperaturas) obtenidos del modelo Daymate para el periodo 1980 – 2016 mediante la herramienta de extracción de un solo pixel, sobre las coordenadas (Latitud: 28.7035 y Longitud: -111.4237).

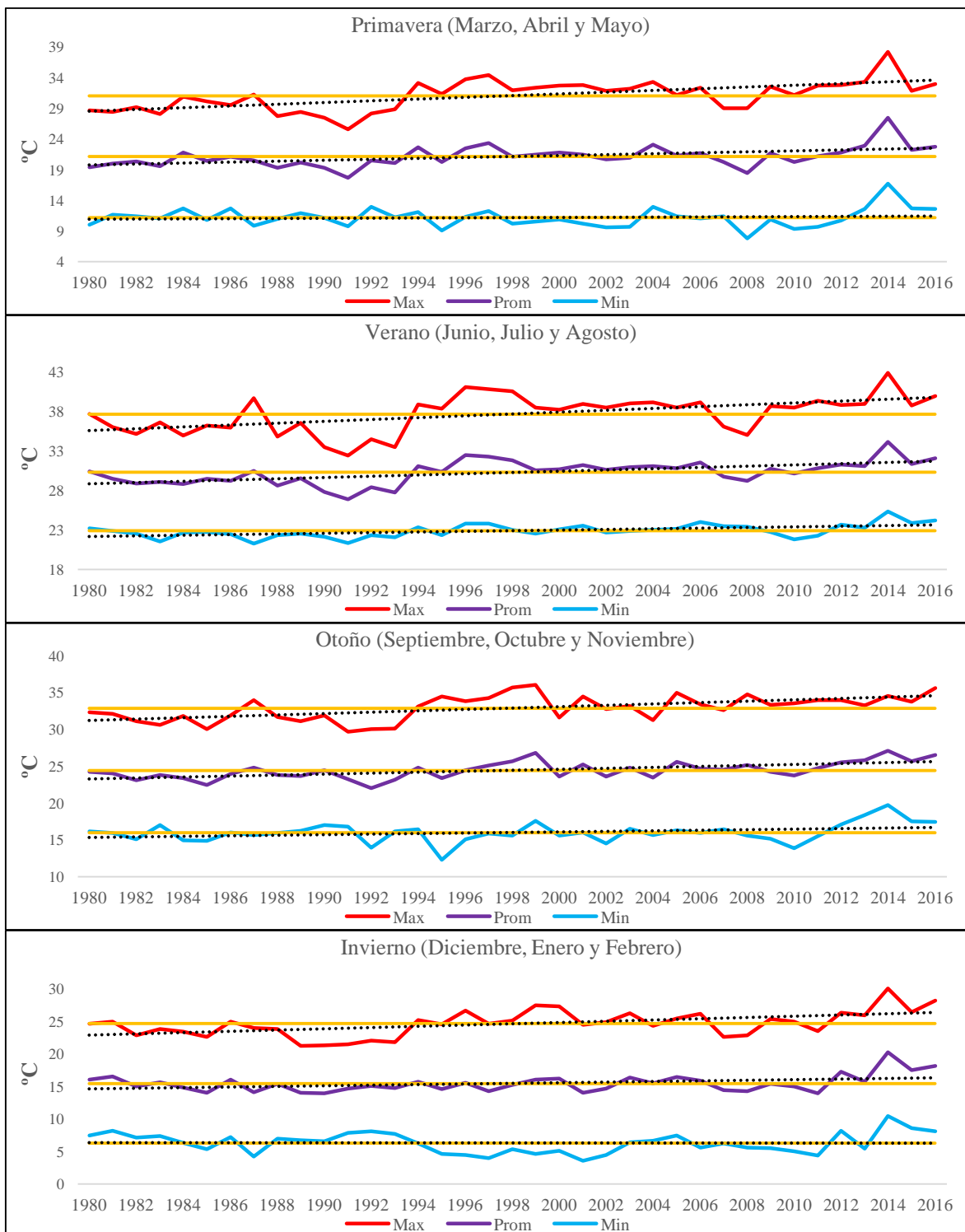


Figura 11. Expresión de la temperatura en la Costa de Hermosillo (Estacional). La línea naranja muestra la media de cada expresión (Max, Prom y Min). La línea punteada muestra la tendencia de las expresiones a futuro. En base a datos (temperaturas) obtenidos del modelo Daymate para el periodo 1980 – 2016 mediante la herramienta de extracción de un solo pixel, sobre las coordenadas (Latitud: 28.7035 y Longitud: -111.4237).

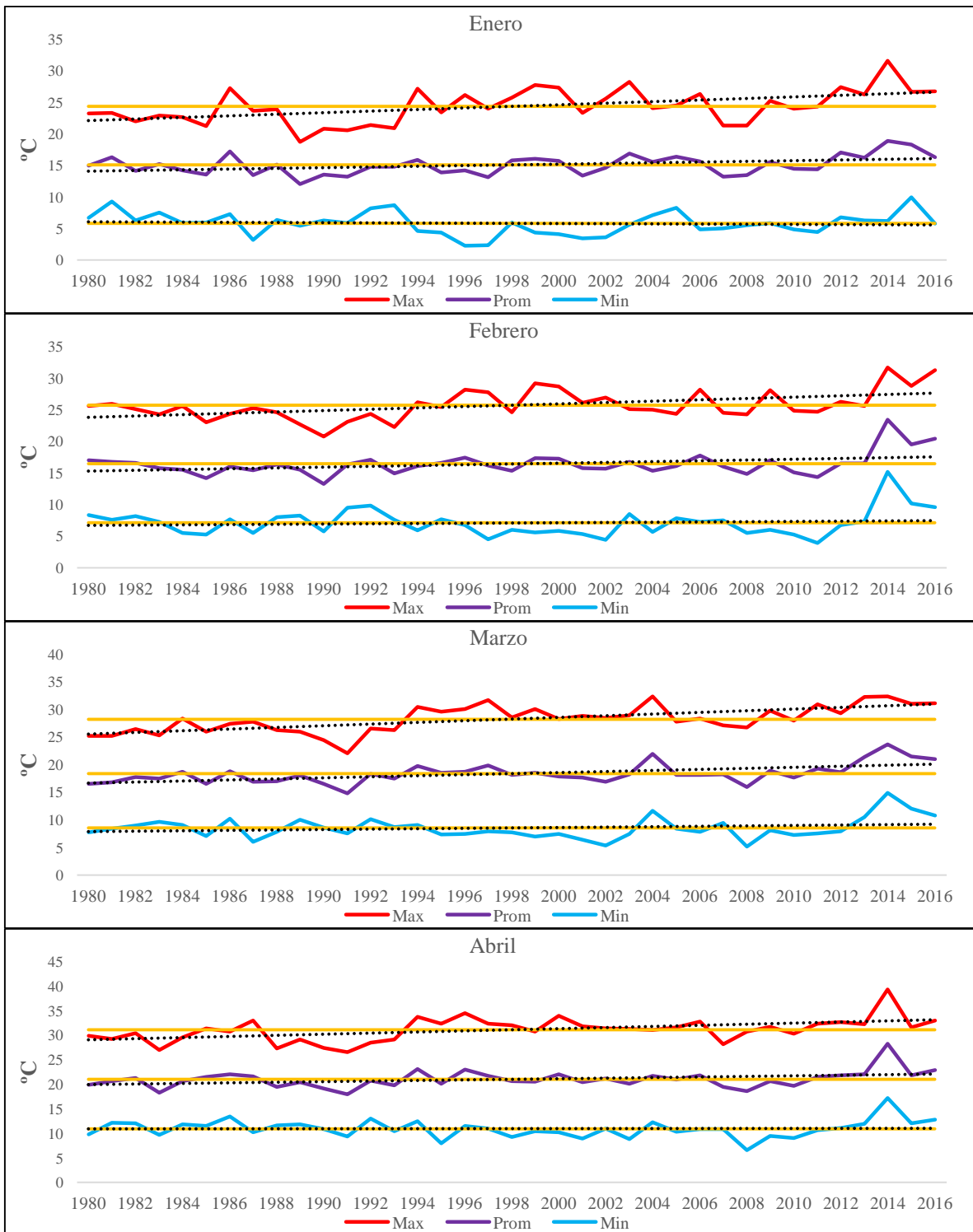


Figura 12. Expresión de la temperatura en la Costa de Hermosillo (Mensual “Enero – Abril”). La línea naranja muestra la media de cada expresión (Max, Prom y Min). La línea punteada muestra la tendencia de las expresiones a futuro. En base a datos (temperaturas) obtenidos del modelo Daymate para el periodo 1980 – 2016 mediante la herramienta de extracción de un solo pixel, sobre las coordenadas (Latitud: 28.7035 y Longitud: -111.4237).

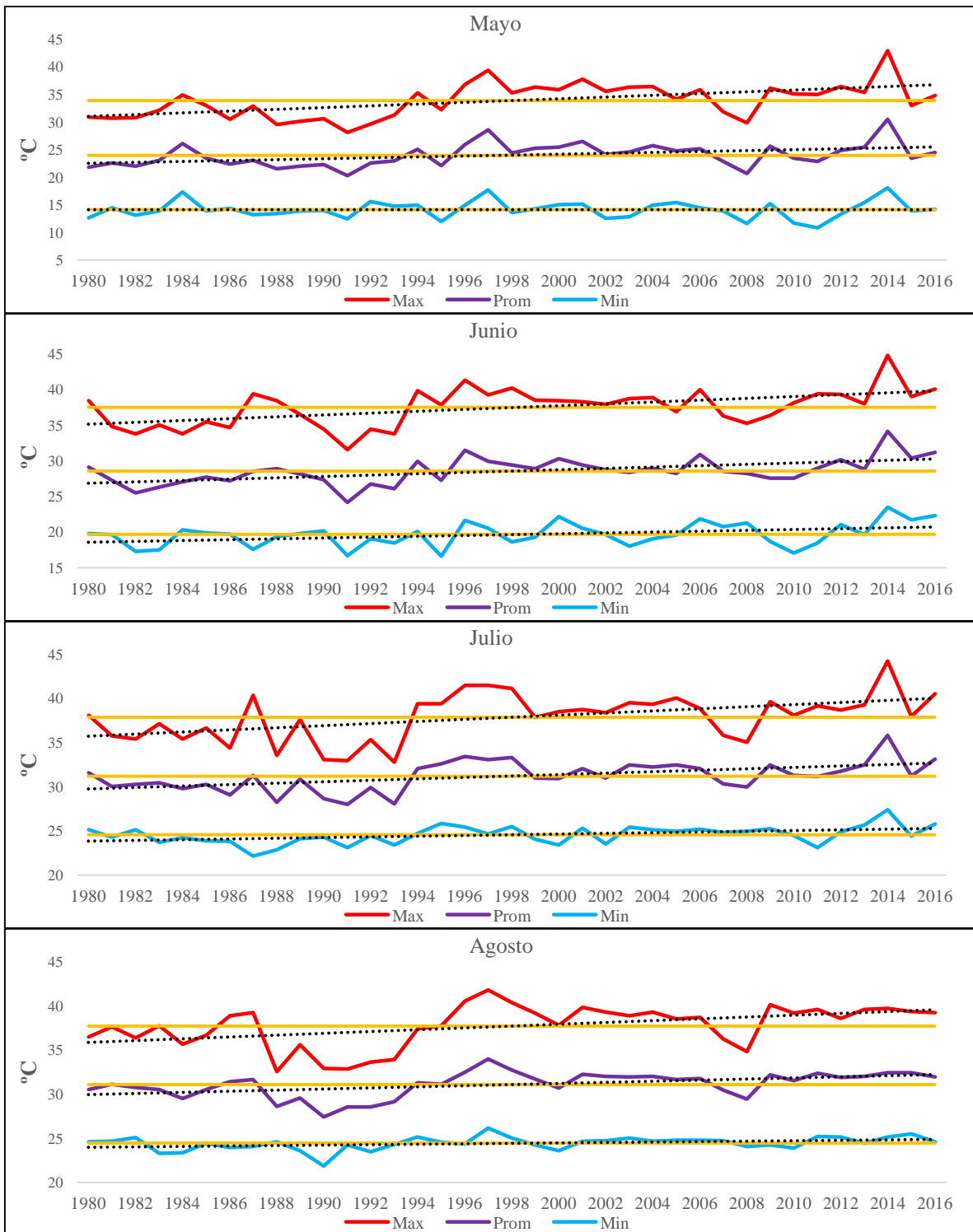


Figura 13. Expresión de la temperatura en la Costa de Hermosillo (Mensual “Mayo – Agosto”). La línea naranja muestra la media de cada expresión (Max, Prom y Min). La línea punteada muestra la tendencia de las expresiones a futuro. En base a datos (temperaturas) obtenidos del modelo Daymate para el periodo 1980 – 2016 mediante la herramienta de extracción de un solo pixel, sobre las coordenadas (Latitud: 28.7035 y Longitud: -111.4237).

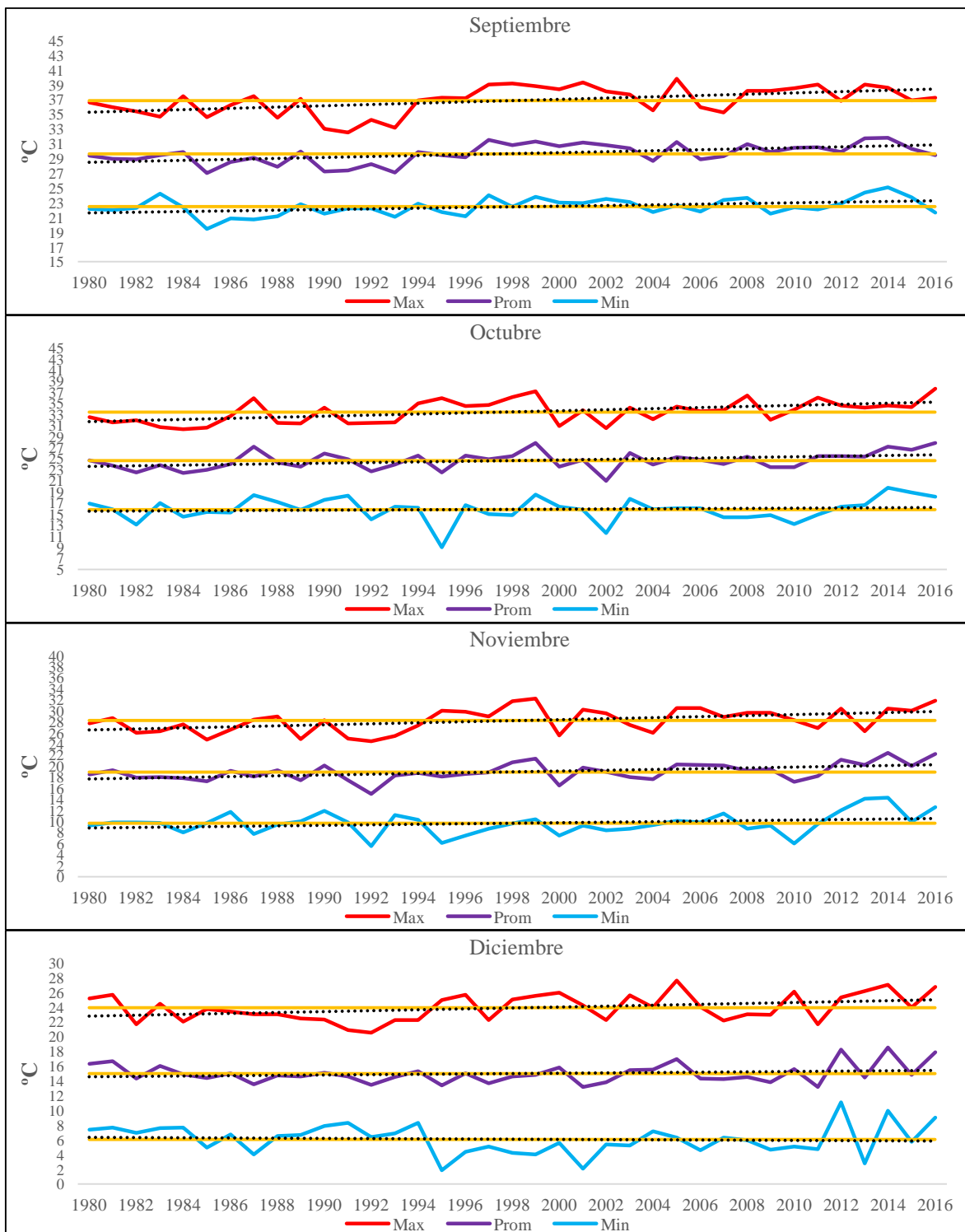


Figura 14. Expresión de la temperatura en la Costa de Hermosillo (Mensual “Septiembre – Diciembre”). La línea naranja muestra la media de cada expresión (Max, Prom y Min). La línea punteada muestra la tendencia de las expresiones a futuro. En base a datos (temperaturas) obtenidos del modelo Daymate para el periodo 1980 – 2016 mediante la herramienta de extracción de un solo pixel, sobre las coordenadas (Latitud: 28.7035 y Longitud: -111.4237).

Entre 1880 y 2012, la temperatura anual global (considerando la terrestre y oceánica) registró un aumento de 0.85 °C con respecto al promedio del periodo 1961-1990 (IPCC, 2013). A este fenómeno de incremento global de temperatura se le conoce como “calentamiento global” y es una de las evidencias más contundentes de la existencia del CC, más no es homogéneo en todas la regiones del planeta (Semarnat, 2016).

En la Figura 10, de forma significativa se visualiza un incremento de las temperaturas a través de los años expresándose esté principalmente en las temperaturas máximas seguido de la media y después la mínima. Por ende, cada mes en el año presenta un comportamiento similar (Figuras 12, 13 y 14), lo que significa que las cuatro estaciones del año están cambiando en su manifestación climática. Es decir, el “verano” que se caracteriza por la mayor expresión de calor donde se manifiestan las temperaturas más altas en el año, se presenta y tiende a presentarse aún más intenso; por el contrario el “Invierno” el cual se caracteriza por manifestar las temperaturas más bajas (expresión de frío), se presenta y tiende a presentarse más cálido. El mismo comportamiento (aumento de la temperatura expresada en más calor) pasa con la “Primavera”, estación caracterizada por el comienzo del aumento en las temperaturas y; con el “Otoño”, estación que se caracteriza por el comienzo del descenso de las temperaturas, este también se presenta y tiende a ser más cálido (Figura 11).

Dividiendo el periodo de tiempo (1980 – 2016) en tres (1980 – 1992 “primer periodo”), (1992 – 2004 “segundo periodo”) y (2004 – 2016 “tercer periodo”); se puede apreciar como en la mayoría de los casos las temperaturas se encuentran ligeramente por debajo o a la par con la temperatura media en el primer periodo, para después en el segundo mostrar un comportamiento a la inversa (ligeramente por encima o la par con la media) y finalizando con el tercer periodo con una ligera proyección en aumento para despegarse de la media. Lo anterior es aún más notorio al hacer la comparación con solo 2 periodos (1980 – 1998 “primer periodo”) y (1998 – 2016 “segundo periodo”), ya que la temperatura pasa de estar ligeramente por debajo de la media a estar por encima de ella. Este comportamiento, es muy similar a los datos de la NASA presentados como variaciones de la temperatura global durante el periodo de tiempo 1880 – 2015 (Figura 15).

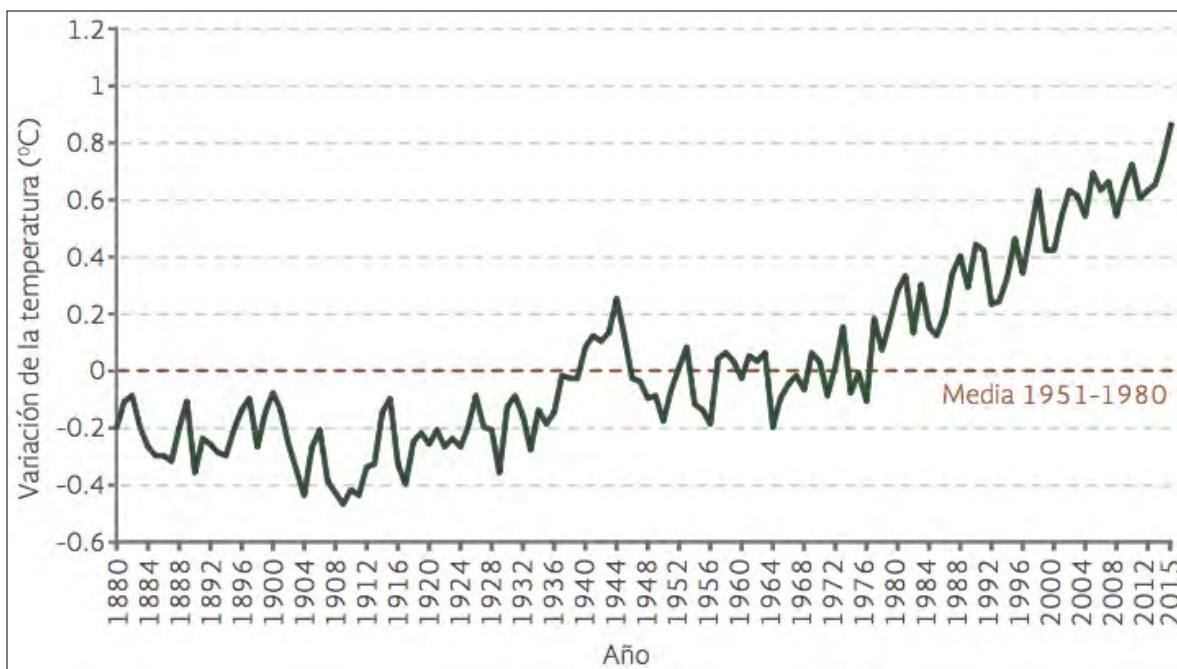


Figura 15. Variación de la temperatura global (1880 – 2016). Fuente: NASA. *GISS Surface Temperature Analysis. Global Annual Mean Surface Air Temperature Change. Global Land-Ocean Surface Temperature Anomaly (Base: 1951-1980).* 2014. Disponible en: http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v3/. Fecha de consulta: mayo de 2016.

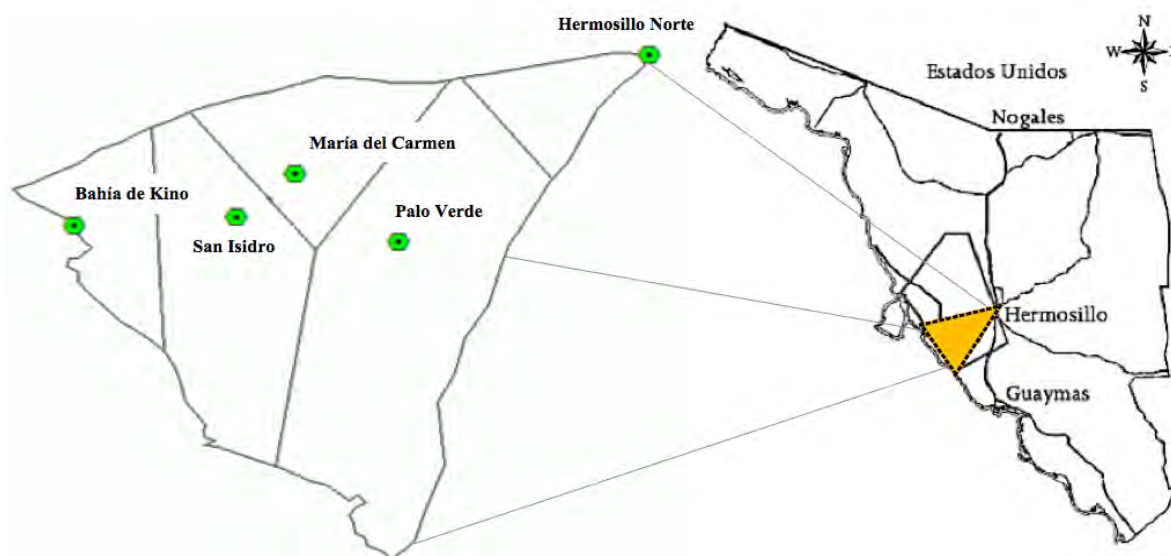
La tendencia mostrada en las figuras (10 – 14) es clara, pues se percibe un aumento que concuerda con la información en figura 15; por lo cual, se pueden justificar los 2 distintos escenarios que proyectan según Semarnat (2016), basados en los modelos RCP4.5 (de bajas emisiones GEI) y RCP8.5 (de altas emisiones GEI) propuestos por el IPCC, incrementos de la temperatura media anual para todo el país durante el periodo 2025 – 2039 con respecto al periodo 1961 – 2000; haciendo el modelo RCP4.5 una pronóstico sobre la mayor parte del país de incrementos de temperatura de entre 1.1 y 1.3 °C, mientras que el modelo RCP8.5, pronostica incrementos de entre 1.4 y 1.5 °C (ambos escenarios son similares).

Lo anterior es importante ya que según el IPCC (2014) basado en cambios en la temperatura media global en relación con el período 1986-2005 (“reciente”), algunos sistemas únicos y amenazados, incluidos los ecosistemas y las culturas, ya están en situación de riesgo a causa del CC (*nivel de confianza alto*) y es aún mayor en caso de que se produzca un calentamiento adicional de alrededor de 1 °C. Los riesgos ya son moderados debido a los diferentes impactos

del CC en las distintas regiones sobre la producción agrícola en particular (*nivel de confianza medio a alto*). Sobre la base de las disminuciones proyectadas en los rendimientos de los cultivos y la disponibilidad de agua en las regiones, los riesgos de impactos distribuidos desigualmente son altos para un calentamiento adicional por encima de 2 °C (nivel de confianza medio).

4.1.2. Expresión del Cambio Climático como fenómeno meteorológico extremo “sequía”

Según los resultados obtenidos, el fenómeno de la sequía se manifiesta en un área significativa de la Costa de Hermosillo (Figura 16). Esto se puede comprobar al visualizar su comportamiento más intenso y prolongado a través del tiempo (1974 – 2015) como se aprecia en la Figura 17.



Estaciones	Clave	Altitud	Coordenadas		Cuenca	Área (Km ²)	Área total (Km ²)
			m E	m N			
María del Carmen	26196	54.00	445865.00	3197227.00	Río Bacoachi	751.06	4,480.1
Bahía de Kino	26179	2.00	409412.00	3187856.00	Río Bacoachi	515.39	
Hermosillo Norte	26139	221.00	502702.00	3222766.00	Río Sonora	385.66	
San Isidro	26082	30.00	436233.00	3189243.00	Río Bacoachi	1165.48	
Palo verde	26066	79.00	462995.00	3184788.00	Río Bacoachi	1662.51	

Figura 16. Área de influencia del fenómeno meteorológico extremo (sequía) en la región de la Costa de Hermosillo. Representación por medio de polígono Thiessen en amarillo. Datos de precipitación obtenidos para el periodo 1974 – 2015 por medio de las estaciones de CONAGUA. Métodos para rellenar datos faltantes: U.S. National Weather Service y Coeficiente de correlación lineal. El pentágono irregular representa las delimitaciones del acuífero Costa de Hermosillo. Mapa de Sonora modificado de Monreal et al. (2002).

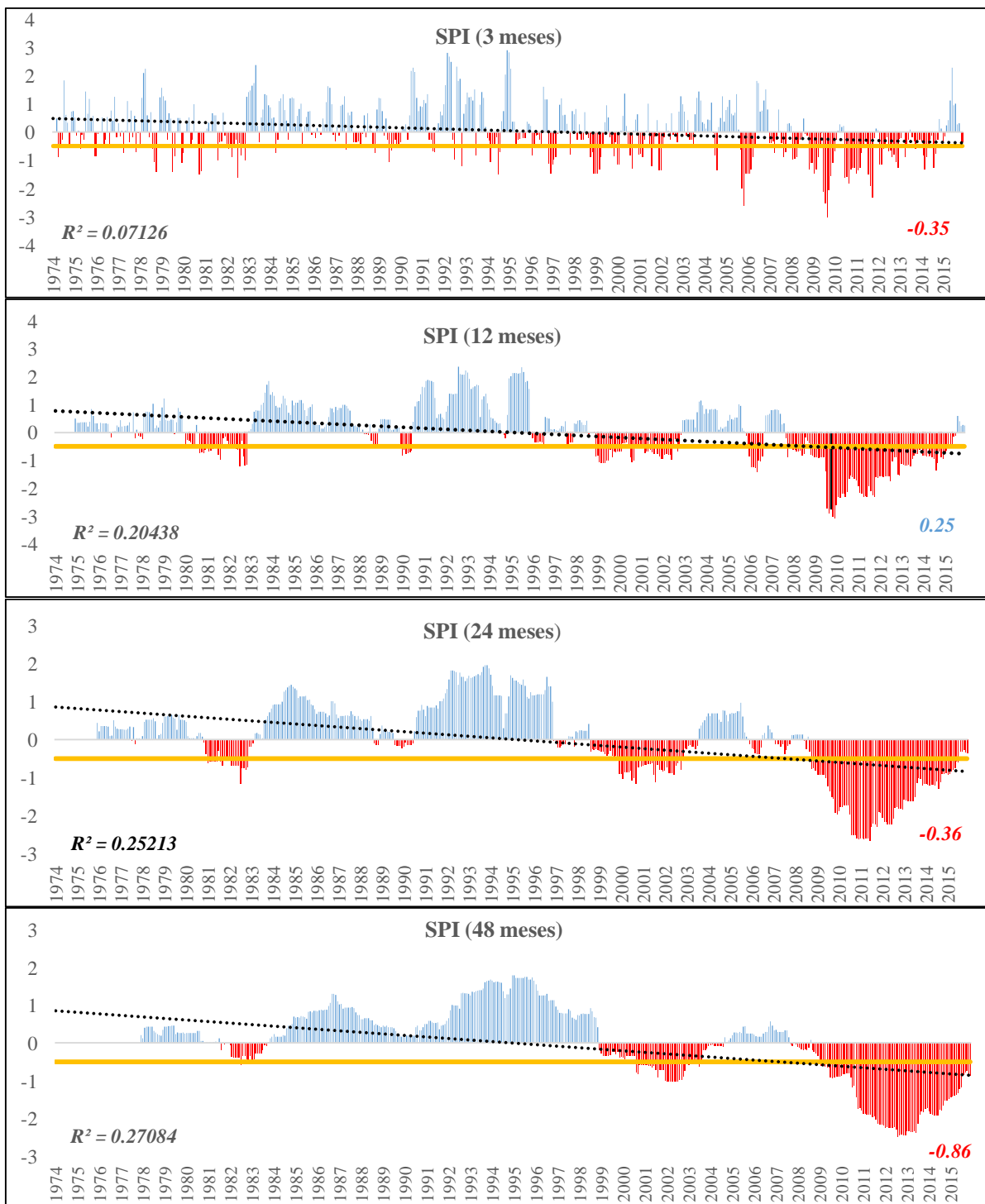


Figura 17. Comportamiento de la sequía según datos del SPI para 3, 12, 24 y 48 meses en el periodo 1974-2015. Eje X = periodo de tiempo. En el eje Y, valores del SPI para clasificar la sequía según Campos (2015): (Ligera “-0.50 a -0.80”, Moderada “-0.80 a 0.95”, Severa “-0.95 a 0.98”, Sequía Extrema “> -0.98”). Línea naranja indica el valor negativo por el cual comienzan las diferentes fases de sequía. En rojo periodos de sequía, la línea punteada, representa su tendencia a futuro. En azul periodos de humedad.

Con la presencia de la sequía, tanto el acuífero Costa de Hermosillo así como el cultivo de la vid están expuestos a sus efectos. Al dividir los 42 años de datos (1974 – 2015) visualizados en la Figura 17 en tres periodos: 1974 – 1987 “14 años primer periodo”, 1988 – 2001 “14 años segundo periodo” y 2002 – 2015 “14 años tercer periodo”; se aprecia que en el primer periodo la sequía es menos frecuente sin embargo presenta un aumento considerable en el segundo periodo y aun mayor en el tercero donde es más evidente su expresión. La situación anterior se visualiza de forma más contundente al dividir los 42 años de datos en 2 periodos: 1974 – 1994 “primer periodo” y 1995 – 2015 “segundo periodo”; así, se aprecia como la sequía pasa de un primer periodo poco significativo en intensidad (ya que los datos se acercan a valores negativos más grandes) y longevidad (ya que los datos se extienden a un mayor número de años) a un segundo periodo significativo en ambos aspectos.

Lo anterior es evidente pues concuerdan con la evaluación para la sequía según Velasco (2002) (Figura 18).

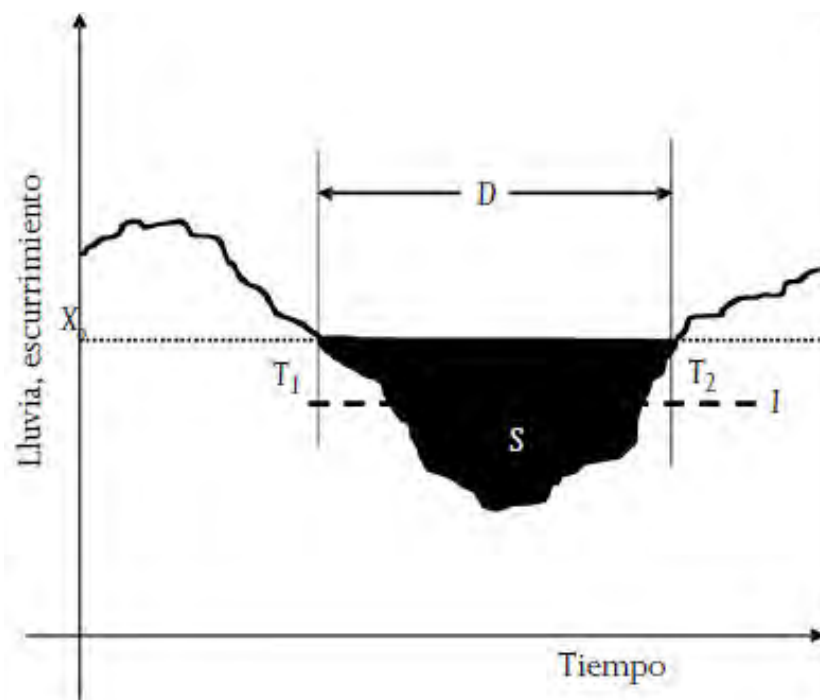


Figura 18. Parámetros básicos de la sequía. Duración (D), intensidad (I), severidad (S), nivel de referencia (X_0), tiempo de inicio (T_1) y tiempo de terminación (T_2). Fuente: Tomado de Velasco et al. (2005), basado en Velasco (2002).

Por otra parte, la intensidad de la sequía fue evaluada según el SPI (para 48 meses) con un valor máximo de -0.86 (fase de sequía moderada Figura 17) lo que implica una condición normal para zonas áridas y semiáridas como lo es la región de la Costa de Hermosillo. Sin embargo se puede decir que dicho fenómeno presenta un comportamiento anómalo en la región; ya que como también se aprecia en dicha figura, se cumple lo dicho por Sanders *et al* (2010), autor que mencionan que la sequía puede influir en la disminución de la disponibilidad media de agua y en que su frecuencia como evento meteorológico extremo aumente; así como también, lo dicho por el IPCC, (2001), Rind *et al* (1989) y Easterling *et al* (2000) quienes relacionan las sequías con un menor número de días de lluvia, y periodos de sequía más largos.

Según Semarnat (2016), Entre 2010 y 2015, el 45% del territorio nacional sufrió cuando menos dos años de sequías severas y extremas, a pesar de que los valores para la Costa de Hermosillo según el SPI expresan como máximo de sequía moderada, en periodo de 2010 – 2015 es donde se aprecia principalmente dicho fenómeno (Figuras 17).

Las Figura 17, también muestra como el fenómeno de la sequía presenta una tendencia a futuro hacia los valores negativos del SPI, exponiendo así un posible aumento en su prolongación e intensidad. Sin embargo, el valor expresado por R^2 como se aprecia en dichas figuras se encuentra alejado de 1, lo que significa una falta de correlación entre los datos; no obstante, también es evidente que el valor de R^2 aumenta considerablemente de cerca del 1% hasta cerca del 30% conforme aumenta la escala de evaluación desde los 3 meses hasta los 48 meses. Por lo anterior se puede decir que utilizando una mayor fuente de datos “50 – 60 años” (cantidad óptima para el uso del SPI), es posible que dicho porcentaje aumente de forma significativa; ya que en base a los modelos RCP4.5 (de bajas emisiones GEI) y RCP8.5 (de altas emisiones GEI) propuestos por el IPCC, la mayor parte del territorio nacional durante el periodo 2015 – 2039 (con respecto al periodo 1961-2000) reduciría su precipitación, bajo los dos escenarios, entre el 1 y 11% de su valor promedio anual, afectando a los estados de Baja California, Baja California Sur y Sonora con la reducción de entre el

25 y 35%; porcentaje que se proyecta (66 y 100% de su promedio mensual histórico) en algunas zonas de Sonora y Baja California (Semarnat, 2016).

4.1.3. Efecto del Cambio Climático expresado como calentamiento global y sequía sobre el acuífero de la Costa de Hermosillo y el cultivo de la vid

4.1.3.1. El Acuífero Costa de Hermosillo y el calentamiento global

Según el IPCC (2015), uno de los impactos como consecuencia del calentamiento global, junto a la inseguridad alimentaria y la pérdida de medios de subsistencia, es la inseguridad hídrica, principalmente en zonas rurales y en comunidades de escasos recursos; como lo es la Costa de Hermosillo. Esto se debe a que las proyecciones debido al aumento de la temperatura revelan cambios en el ciclo hidrológico que seguramente tendrán impactos en la disponibilidad y la calidad de los recursos hídricos, pues estudios señalan que cuanto mayor sea el nivel de calentamiento que experimente el planeta durante el siglo XXI mayor será la proporción de la población con escasez de agua (Semarnat, 2016).

A pesar de que los impactos no serán uniformes globalmente, principalmente debido a que los cambios que se proyectan en el ciclo hidrológico pueden diferir entre regiones (Semarnat, 2016); la recarga media anual del acuífero de la Costa de Hermosillo puede encontrarse minimizada con respecto a las últimas estimaciones, pues las proyecciones señalan que se reducirán los recursos renovables de aguas superficiales y subterráneas en la mayoría de las regiones secas subtropicales, con lo que podría intensificarse la competencia por el agua entre los sectores consumidores. Un escenario opuesto, con el aumento de los recursos hídricos, se pronostica para las latitudes altas del planeta (IPCC, 2015).

Otro efecto negativo relacionado al calentamiento global sobre el acuífero es el riesgo que existe sobre la calidad de sus aguas. Según el IPCC (2015), se espera que la calidad del agua bruta y agua potable se reduzca como resultado de la interacción entre el aumento de la temperatura, el incremento de la concentración de sedimentos, nutrientes y contaminantes debido a las lluvias; la mayor concentración de contaminantes durante las sequías, y la

interrupción del funcionamiento de las instalaciones de tratamiento durante las crecidas.

La situación anterior es crítica, ya que según Modelska *et al.* (2006), el acuífero de la Costa de Hermosillo en relación principal con la actividad agropecuaria, presenta tres jerarquías de contaminación por iones de nitrato y nitrito: 1) 1.2 – 99.94 mg NO₃ L⁻¹ y 5.99 – 12.5 mg NO₂ L⁻¹ en el agua subterránea y superficial de la zona de recarga; 2) 6.35 – 158.77 mg NO₃ L⁻¹ y 0.11 – 10.47 mg NO₂ L⁻¹ en el agua subterránea de las áreas agrícolas donde se tiene el riego intensivo; 3) 0.00 – 114.49 mg NO₃ L⁻¹ y 13.93 – 22.67 mg NO₂ L⁻¹ en el agua subterránea donde existe el agua salobre producto de la intrusión marina. Estos compuestos se ha incrementado relativamente en pocos años, pues un estudio previo realizado por Steinch *et al.* (1998), revelo un máximo de concentraciones de 17 mg L⁻¹.

Según Méndez (2017), la cuenca hidrogeológica de la Costa de Hermosillo no puede degradar los compuestos nitrogenados ya que no hay recursos hídricos para hacerlo. El mismo autor menciona que a esta situación se le pudiera considerar como un problema grave considerando que la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (USEPA) por sus siglas en inglés, establece el límite de las concentraciones en 10 mg N L⁻¹.

4.1.3.1.1. Efecto del calentamiento global sobre la evapotranspiración de referencia

Debido al claro aumento de las temperaturas antes mencionadas, otros factores que interactúan significativamente con el fenómeno, también son afectados ejemplo: la evapotranspiración de referencia.

La ETo, depende significativamente del comportamiento de las temperaturas, así como se puede observar en la Figura 19. El aumento de la ETo es un problema en la Costa de Hermosillo, ya que esta repercute de dos formas importantes sobre el acuífero: 1) Aumento de la extracciones debido al incremento de la demanda hídrica de los cultivos; 2) Disminución de la recarga de origen meteórico debido a la evaporación del agua en el suelo.

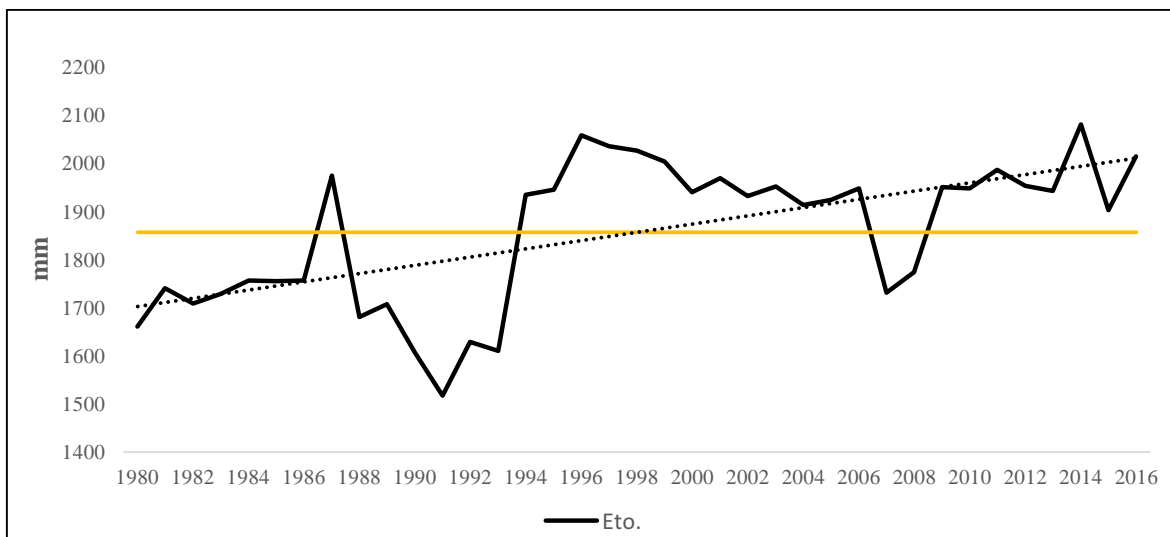


Figura 19. Expresión de la evapotranspiración de referencia (ETo) como consecuencia del Cambio Climático en la región de la Costa de Hermosillo. La línea amarilla muestra la media anual de ETo. La línea punteada muestra la tendencia de su expresión a futuro. Con base en datos (temperaturas) del Daymate para el periodo 1980 – 2016 mediante la herramienta de extracción de un solo pixel, sobre las coordenadas (Latitud: 28.7035 y Longitud: -111.4237). Por medio del método de cálculo para ETo de: Hargreaves – Samani.

Según Macías (2009), el conocimiento de la ETc es fundamental para la estimación de las necesidades del agua de los cultivos y la consiguiente programación de los riegos. Según Allen *et al.*, (1998) la ETc representa la cantidad de agua que, por el proceso de transpiración la planta emite como vapor de agua a la atmósfera, más la cantidad de agua que se pierde por evaporación desde la superficie del suelo.

El concepto de evapotranspiración incluye tres diferentes definiciones: evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo), evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc), y evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ETc aj) (Allen *et al.*, 1998). ETo es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera. ETc se refiere a la evapotranspiración en condiciones óptimas presentes en parcelas con un excelente manejo y adecuado aporte de agua y que logra la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas. ETc aj requiere generalmente una corrección, cuando no existe un manejo óptimo y se presentan limitantes ambientales que afectan el crecimiento del cultivo y que restringen la evapotranspiración, es decir, bajo condiciones no estándar de cultivo (Macías, 2009).

Por otra parte en agricultura se maneja un coeficiente para los cultivos (K_c) que expresa la diferencia entre la evapotranspiración de la superficie cultivada y la superficie del pasto de referencia (Allen *et al.*, 1998). El K_c , es fundamental entonces para determinar la demanda hídrica de los cultivos. Macías (2009), menciona que la mayor parte de los métodos que se utilizan para el cálculo de los coeficientes de cultivo parten de la relación entre la E_{To} del cultivo y la E_{Tc} , es decir, $E_{Tc}=E_{To}*K_c$; despejando el k_c de la expresión anterior: $K_c=E_{Tc}/E_{To}$.

Por lo descrito anteriormente se puede decir, que el aumento en las temperaturas por consecuencia del CC (Figuras 10 – 14); está ocasionando un aumento en la E_{To} como se aprecia en la Figura 16; que por ende, provoca que la E_{Tc} también aumente. Es decir, La demanda hídrica de los cultivos producidos en la Costa de Hermosillo se percibe en aumento; por lo cual, se demandara más agua del acuífero ya que como anteriormente se mencionó, el principal sustento hídrico para los cultivos (en un 90 %), es agua de fuente subterránea (que incluye agua fósil) en estado de sobreexplotación debido a las extracciones que supera por mucho la oferta hídrica de la región.

4.1.3.2. El cultivo de la vid y el calentamiento global

La fenología comprende el desarrollo, diferenciación e iniciación de órganos o estructuras y se refiere al estudio de fenómenos biológicos vinculados a ciertos ritmos periódicos tales como la brotación, floración, entre otros y relacionarlos con el medio ambiente en que ocurren (Hodges, 1991; Mullins *et al.*, 1992). Jones y Davis (2000) señalan que el desarrollo de la vid ocurre como un efecto directo del clima y puede ser descrito a través de los eventos fenológicos, entendiéndose que la fenología de un sistema de cultivo es importante para determinar la capacidad de una zona o región para producir cosechas dentro del esquema de su régimen climático.

Según los resultados obtenidos, en la región de estudio se aprecia principalmente el segundo escenario (impacto negativo) ya que el aumento de las temperaturas (Figuras 11 – 14), ha provocado que se incrementen los valores fuera del rango óptimo para el eficiente desarrollo

de cada etapa fenológica de la vid (con excepción de la etapa de floración), así como también de sus diferentes procesos.

4.1.3.2.1. Proceso de fotosíntesis

El efecto del CC sobre el proceso fotosintético del cultivo de la vid, este se puede apreciar en la Figura 20. Dicha figura muestra un rango óptimo de temperatura para que la actividad fotosintética se lleve a cabo de forma eficiente para el pleno desarrollo de la planta, seguido de un rango en el cual la eficacia comienza a decrecer hasta un último valor de temperatura donde ya no se lleva a cabo más la actividad fotosintética.

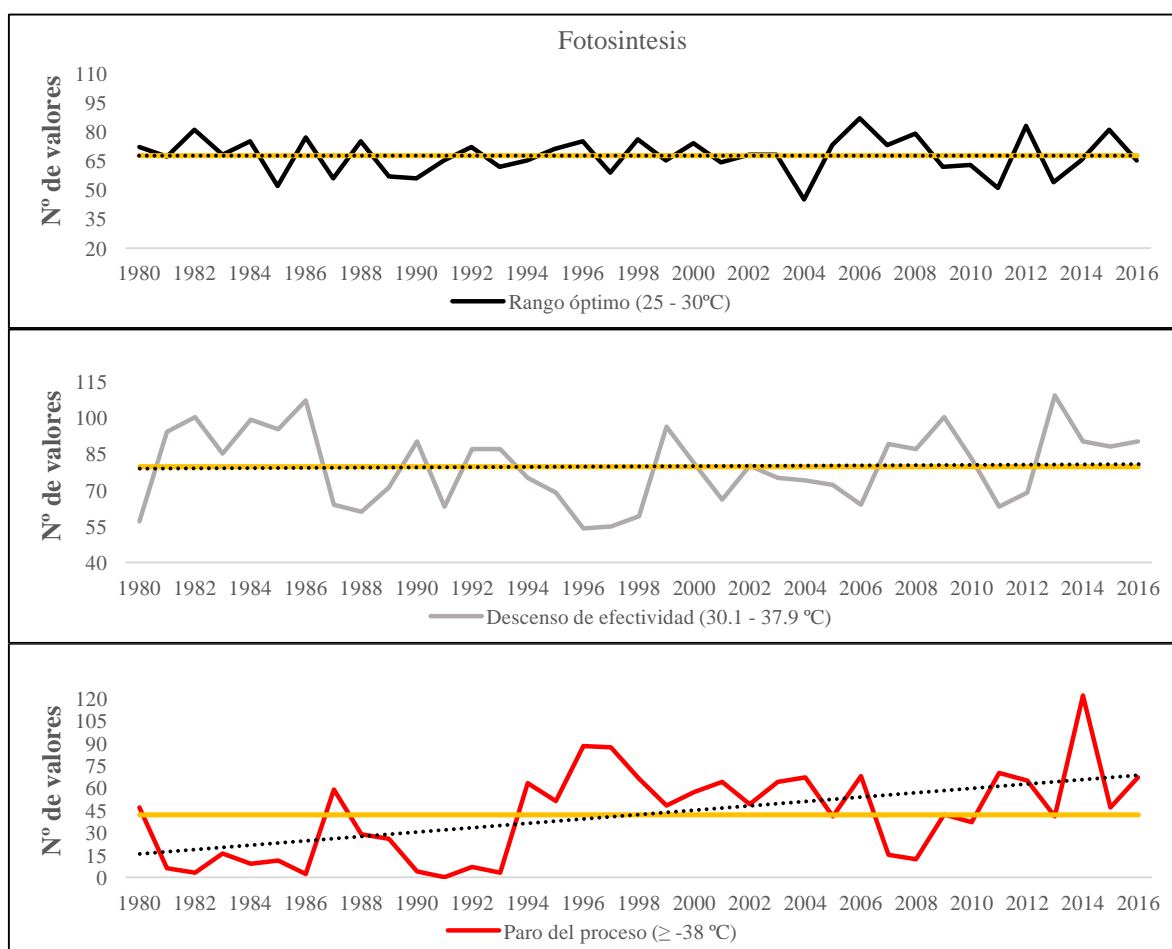


Figura 20. Comportamiento del proceso fotosintético del cultivo de la vid, frente al Cambio Climático. Basado en las temperaturas máximas registradas de Enero a Julio por medio del modelo Daymate para el periodo 1980 – 2016 mediante la herramienta de extracción de un solo pixel, sobre las coordenadas (Latitud: 28.7035 y Longitud: -111.4237). La línea naranja indica la media de los valores y la línea punteada su tendencia a futuro.

Con respecto al rango óptimo de temperatura, este se ha mantenido prácticamente estable sin evidencia aparente que muestre alguna alteración durante el periodo de evaluación (1980 – 2016) pues la tendencia se mantiene por debajo de la media, no obstante es posible apreciar diferencia ligeramente significativa referente al rango de descenso de la eficacia fotosintética, pues este rango presentan una leve tendencia a aumentar sobrepasando la media a partir del año 1999. Además, al considerar el límite de temperatura por el cual la actividad fotosintética se detiene, la diferencia significativa es claramente mayor a la anterior, ya que se visualiza como los valores de temperaturas iguales o mayores a los 38°C se han incrementado por encima de la media a partir de 1999 con una tendencia clara a seguir aumentando hacia el futuro. Lo anterior puede ser alarmante, pues el proceso de fotosíntesis es vital para el desarrollo de las plantas.

Mediante este proceso se producen los carbohidratos, que representan la base de la “productividad”, a partir de ellos se producirán (en sentido amplio) la edificación y acumulación de las distintas partes de la planta (estructuras vegetales hasta compuestos aromáticos de la uva) y el mantenimiento de la planta (energía necesaria para los distintos procesos sobre cada fase fenológica). Según González (1998), el aparato fotosintético es muy sensible a las temperaturas extremas, ya que la exposición de las hojas a temperaturas que sobrepasan un nivel crítico, producen un daño irreversible en el aparato fotosintético que las inhabilita para realizar la fotosíntesis y por tanto con consecuencias fatales para la planta.

Por otra parte, la fotosíntesis está influida por un gran número de factores ambientales, tales como luz, concentración de O₂ y CO₂ del aire, humedad, disponibilidad de agua en el suelo, salinidad, contaminación, aplicación de productos químicos, insectos, enfermedades y todas sus posibles interacciones. Además, determinadas prácticas en cultivos, como aclarado, poda, fertilización o irrigación, alteran las condiciones ambientales de las plantas y con ello se ve afectada la fotosíntesis. A corto plazo (de días a semanas), las condiciones ambientales influyen sobre la fotosíntesis mediante la regulación de la conductancia estomática y la actividad fotosintética. A largo plazo, la fotosíntesis también es regulada según las condiciones ambientales, a través de cambios en el área foliar.

4.1.3.2.2. Proceso de acumulación de frío

La Figura 21, muestra como el rango óptimo de temperatura para acumular horas frío en el cultivo de la vid tiene una tendencia ligera a disminuir, básicamente es en los últimos años 2012 – 2016 donde se aprecia mejor tal disminución.

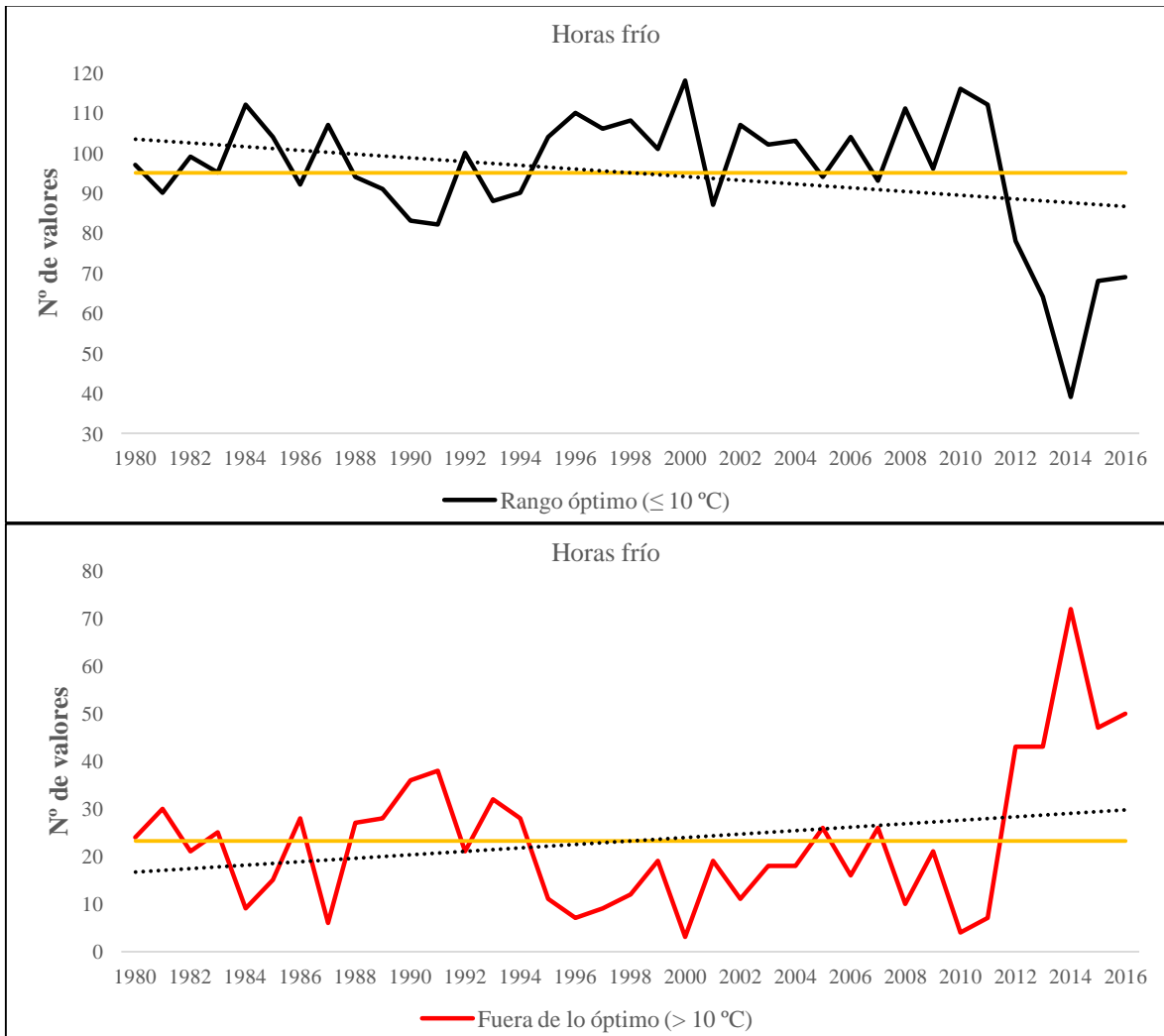


Figura 21. Comportamiento del proceso para acumular horas frío, del cultivo de la vid frente al Cambio Climático. Basado en las temperaturas mínimas registradas de Noviembre a Febrero por medio del modelo Daymate para el periodo 1980 – 2016 mediante la herramienta de extracción de un solo pixel, sobre las coordenadas (Latitud: 28.7035 y Longitud: -111.4237). La línea amarilla indica la media de los valores fuera de lo óptimo y la línea punteada su tendencia a futuro.

El ligero descenso se debe a que en los meses de Diciembre y Enero aun cuando la temperatura máxima y media van en aumento, las mínimas van en descenso; sin embargo, el comportamiento en los meses de Noviembre y Febrero tanto la temperatura máxima, promedio y mínima van en aumento (Figuras 12 y 14).

Aun con lo anterior, como se aprecia en dicha figura los valores óptimos para la acumulación de frío tienden a disminuir debido al CC expresado por el aumento de la temperatura. Esto se confirma al observar el aumento de las temperaturas mínimas por encima de los 10 °C (límite en el cual el cultivo de la vid deja de acumular frío) comenzando por un periodo aproximado a los valores medios (1980 – 1994), seguido de un periodo ligeramente por debajo de la media (1995 – 2011), finalizando con el inicio de un periodo que se despega significativamente por encima de la media (2012 – 2016).

Considerando que la vid es una planta de tipo arbustivo caducifolia que requiere de acumulación de horas frío para salir de su período de dormancia, la situación se puede expresar de forma negativa sobre el cultivo. Los rangos menores a 150 a 1200 horas frío acumuladas (dependiendo de la variedad) provocan una brotación reducida, no uniforme y el retraso en la maduración de frutos (Almanza, 2011).

Otros autores, como Wicks *et al* (1984) y Or *et al* (2000), mencionan que la falta de frío invernal provoca retraso en la brotación de las yemas, brotación errática de éstas, disminución del número de brotes por sarmiento, disminución de racimos por sarmiento, poca uniformidad en el desarrollo de los racimos y retraso en la maduración de las bayas, lo cual se traduce al final en producciones pobres, tardías y de baja calidad.

4.1.3.2.3. Fase de brotación

Como lo muestra la Figura 22, después de romper el periodo de dormancia son benéficas para el cultivo de la vid las temperaturas entre un rango de 8 – 12 °C para asegurar con la mayor eficacia la fase de brotación. Sin embargo la tendencia de dicho rango es decreciente lo que significa que con el pasar de los años el rango optimo tiende a presentarse menos,

situación contraria al referirnos a las temperaturas fuera de lo óptimo ($> 12\text{ }^{\circ}\text{C}$), donde se mira un comportamiento a la inversa ya que en este caso la tendencia va en aumento.

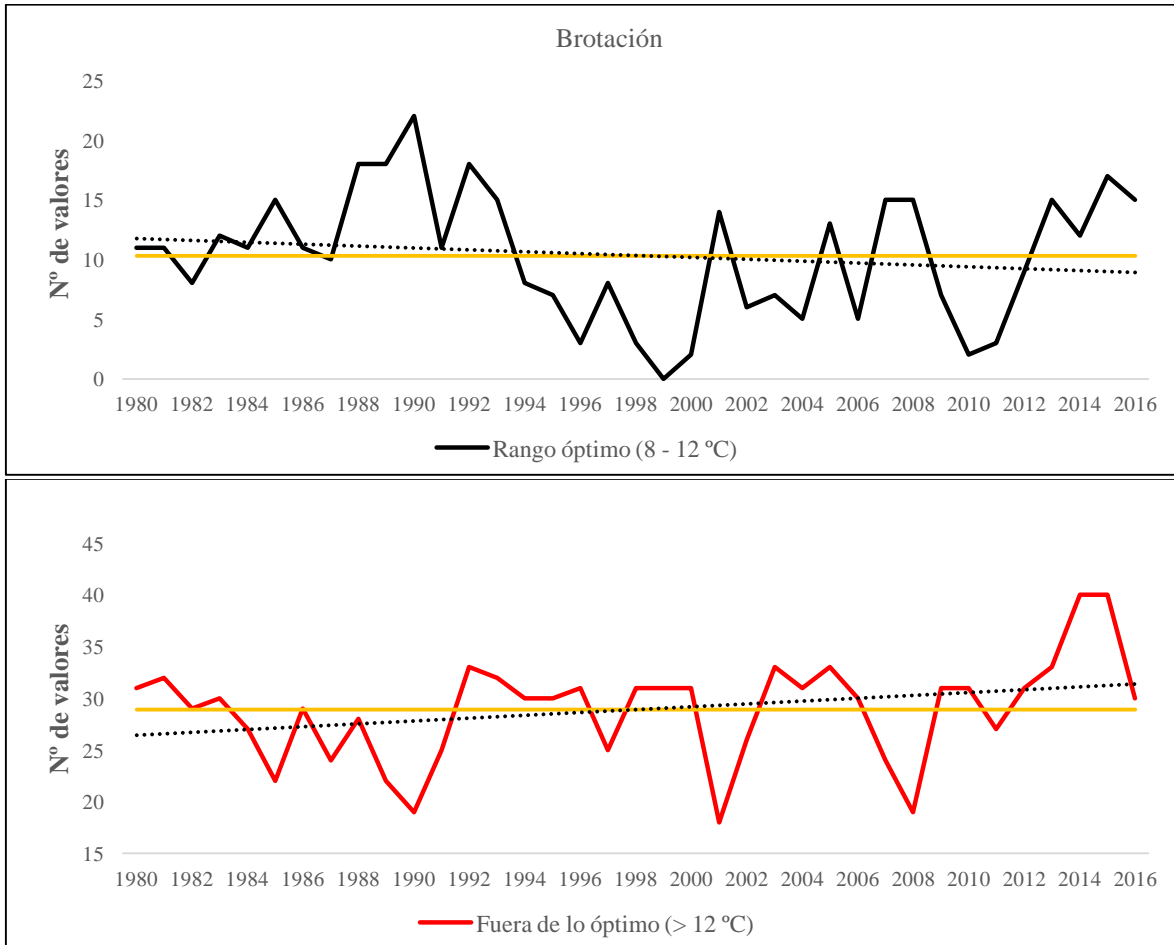


Figura 22. Comportamiento de la fase fenológica (brotación) del cultivo de la vid, frente al Cambio Climático. Basado en las temperaturas máximas mínimas y promedio registradas del 15 de Enero al 15 de Febrero por medio del modelo Daymate para el periodo 1980 – 2016 mediante la herramienta de extracción de un solo pixel, sobre las coordenadas (Latitud: 28.7035 y Longitud: -111.4237). La línea naranja indica la media de los valores y la línea punteada su tendencia a futuro.

Kliwer y Soleimani (1972), mencionan que las yemas endolantes de vid poseen un requerimiento mínimo de frío para brotar el cual se satisface mediante exposiciones a bajas temperaturas. A pesar de que se han efectuado numerosos estudios para determinar el requerimiento de frío de la vid, el cual se asume ser característico de cada variedad, hoy en día existen inexactitudes en la determinación de estos requerimientos debido a factores ambientales de cada localidad y a los diferentes modelos usados en su cálculo. Aun con lo

anterior, debido al descenso de la frecuencia de temperaturas óptimas así como también al aumento de las temperaturas no óptimas para la fase de brotación (Figura 20) , se puede decir que el cultivo de la vid en la región está siendo afectado de forma negativa ya que según Pinto *et al* (2009), la falta de frío invernal ocasiona:

1. Retraso en la brotación de yemas.
2. Brotación errática de yemas.
3. Disminución del número de brotes por sarmiento.
4. Disminución de racimos por sarmiento.
5. Poca uniformidad en el desarrollo de racimos.
6. Retraso en la maduración de bayas.

Esto se traduce en producciones pobres, tardías y de baja calidad. Lo que posiblemente ha conllevado a que los agricultores de la región dependan de productos agroquímicos como la Cianamida Hidrogenada (H_2CN_2); Bonnaire y Rinder, (1985), mencionan que esta posee características de regulador de crecimiento para diversas especies frutales, modificando el periodo de receso invernal y estimulando precozmente la brotación. No obstante, aun cuando existen numerosos procedimientos, que ayudan a terminar el estado de letargo de las yemas después que los requisitos de frío han sido parcialmente satisfechos Gil, (1997), menciona que ninguno de ellos es capaz de sustituir completamente al frío.

4.1.3.2.4. Fase de floración

La fase de floración, es una de las etapas más importantes para la actividad vitícola. Las flores, son el medio por el cual se dará forma a los granos de las uvas que van a componer los racimos. Esta etapa determina el volumen de la cosecha y brinda información para la posterior recolección. La Figura 23, muestra como el CC expresado como calentamiento global ha provocado un efecto positivo sobre la fase de floración del cultivo.

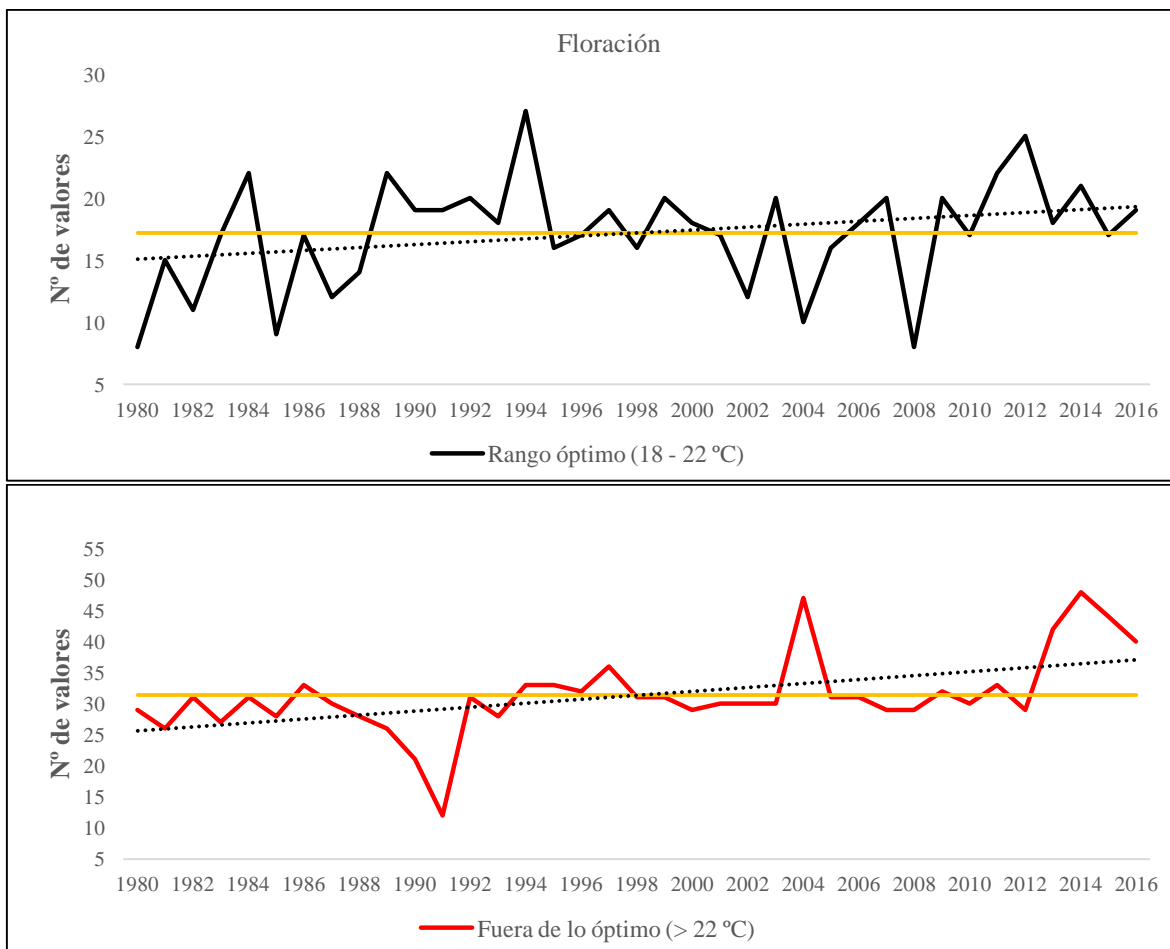


Figura 23. Comportamiento de la fase fenológica (floración) del cultivo de la vid, frente al Cambio Climático. Basado en las temperaturas máximas, mínimas y promedio registradas durante el mes de Marzo, por medio del modelo Daymate para el periodo 1980 – 2016 mediante la herramienta de extracción de un solo pixel, sobre las coordenadas (Latitud: 28.7035 y Longitud: -111.4237). La línea naranja indica la media de los valores y la línea punteada su tendencia a futuro.

Como muestra la figura 23, a pesar de que los valores de temperaturas fuera del rango óptimo van en aumento, el rango de temperatura óptimo para el cultivo no ha sido afectado inclusive, este también presenta una tendencia de incremento que se puede expresar como un factor positivo para la fase fenológica. Esto se puede justificar según Susarrey (2014) a que esta especie es altamente adaptable a una gran diversidad de climas; actualmente se cultivan vides tanto en climas húmedos como secos, cálidos y fríos, desérticos y tropicales, etc. Sin embargo, cada una de estas características climáticas influye en el comportamiento del cultivo y finalmente tiene resultados distintos en los frutos (Medina *et al.*, 2008). De acuerdo al resultado que se desee obtener, distintos aspectos climáticos serán más o menos favorables.

4.1.3.2.5. Fases de envero y maduración

La fase de envero y maduración se llevan a cabo juntas. Es decir durante el proceso de maduración de la fruta, las bayas comienzan a adquirir su color característico dependiendo de la variedad (tonalidades rojas, moradas, muy claras llamadas blancas “verde o amarilla” o muy oscuras casi negras). Lo más importante de estas fases, es que su finalización señala el inicio de la cosecha. La Figura 24, muestra el comportamiento de las temperaturas óptimas para que se lleve a cabo eficientemente la etapa de envero y maduración, así como también el rango de temperaturas no óptimas para dicha etapa.

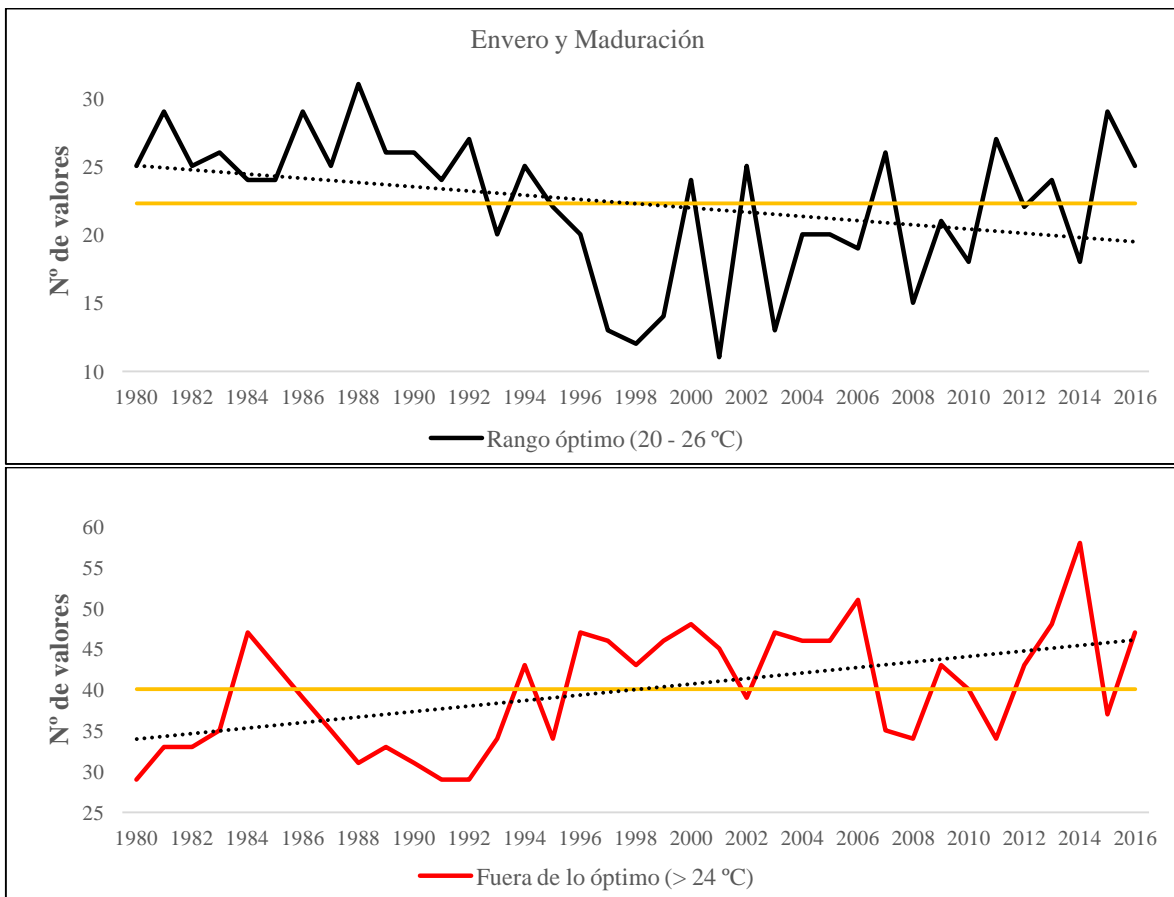


Figura 24. Comportamiento de las fases fenológicas (envero y maduración) del cultivo de la vid, frente al Cambio Climático. Basado en las temperaturas máximas, mínimas y promedio registradas de Abril a Mayo 15 por medio del modelo Daymate para el periodo 1980 - 2016 mediante la herramienta de extracción de un solo pixel, sobre las coordenadas (Latitud: 28.7035 y Longitud: -111.4237). La línea naranja indica la media de los valores y la línea punteada su tendencia a futuro.

En la etapa de envero, el fruto se colorea y se suaviza, se acumulan los sólidos solubles (azúcares) y se reduce la presencia de ácidos en el fruto. Es un término empleado en viticultura para indicar una de las fases del ciclo de maduración de la uva. En el envero se produce un cambio en el color de las uvas, de forma que las variedades tintas se colorean con las antocianinas o pigmentos rojos y azulados, mientras que las variedades blancas se vuelven rubias o amarillas. A partir de ese momento, el pigmento de la uva ya no es verde, como ocurría cuando las bayas estaban inmaduras y debían su color exclusivamente a la clorofila.

El envero representa una transición entre el crecimiento de la uva y su maduración; como se aprecia en la Figura 22, el CC está provocando que dicha etapa no se vea favorecida pues los rangos de temperatura óptimos están menguado con el pasar de los años mientras que los rangos de temperatura no óptimos tienden a incrementarse.

Esta situación puede estar provocando actualmente dificultad para que los racimos de uvas agarren color y tarden para acumular el azúcar en las bayas (15 grados Brix según la guía técnica para el área de influencia del Campo Experimental Costa de Hermosillo), así como también la maduración de las bayas expresada por su aumento de tamaño deseable (1.8 cm, el promedio puede variar desde 1.6 cm hasta 2.2 cm) según el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y la Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce (IICA – COFUPRO); retrasándose de esta manera la cosecha debido a la falta de calidad en el racimo y por siguiente, poniendo en riesgo los mejores precios en el mercado.

El fruto de la uva es una fábrica bioquímica que contiene agua, azúcar, amino ácidos, minerales y micronutrientes (Kennedy, 2002). Por lo cual el efecto del CC como se visualiza en la Figura 22, puede interfiere en dichos procesos; sin embargo es importante mencionar que en la región de la Costa de Hermosillo son comunes diversas prácticas agronómicas que tiene como fin el garantizar la mayor eficacia de estas fases fenológicas (Tabla 12).

Tabla 12. Prácticas agronómicas, para mejorar la eficacia de las fases fenológicas (envero y maduración).

Práctica agronómica	Función
Ácido giberélico (AG ₃)	En el caso de aplicaciones sobre la baya, esta fitohormona tiene la finalidad de regular su crecimiento.
Anillado	Consiste en eliminar del tronco 4 a 5 mm de corteza utilizando una cuchilla doble, con el fin de incrementar el tamaño de la baya y acelerar la maduración.
Ethrel (Etefón)	Regulador de crecimiento únicamente en variedades rojas, ya que ayuda a la síntesis de pigmentos, mejorando la coloración de las bayas al liberar la horma etileno en la planta.
Despunte de guías	En general se efectúa en enero y consiste en eliminar las puntas de crecimiento a la altura de la cintura aproximadamente y tiene por objeto ayudar a la maduración, permitiendo una entrada mayor de luz y facilitar la aplicación de Ethrel

Fuente: Elaboración de la autora en base a información de la guía técnica para el área de influencia para el Campo Experimental Costa de Hermosillo 2010.

4.1.3.2.6. Fase de cosecha

Según información de la Agenda Técnica Agrícola de Sonora (2015), la cosecha se inicia cuando se haya alcanzado el color característico de la variedad (Perlette y Superior “baya blanca”; Flame y Red Globe “baya roja”; entre otras como: Early Sweet, Prime, Black Seedless y Autumn Royal) abarcando un periodo a partir de la primera semana de Mayo hasta el 15 de Julio, principalmente cuando se alcanza la concentración de azúcar (grados Brix) que exige el mercado internacional (mínimo de 15.5).

En la Agenda técnica antes mencionada, se informa que la cosecha consiste en el corte de la fruta por medio de la práctica manual, empacándose rápidamente principalmente en campo para que después la fruta pase a cuartos fríos para bajar la temperatura y normalmente, como practica final llevarla en contenedores refrigerados a diferentes destinos, principalmente Estados Unidos de Norteamérica.

La práctica de refrigerar la fruta es debido a que en la Costa de Hermosillo no se cuenta con temperaturas óptimas (18 – 22 °C) para cosechar los racimos de uvas y estos se mantengan frescos. En la Figura 25, se puede apreciar como los rangos óptimos de temperatura para la etapa de cosecha han estado disminuyendo a través del tiempo, mientras que los rangos fuera de lo óptimo, han presentado un comportamiento inverso al anterior. Mostrándose así que dicha práctica, también está siendo afectada por el CC expresado por el aumento de las

temperaturas (calentamiento global).

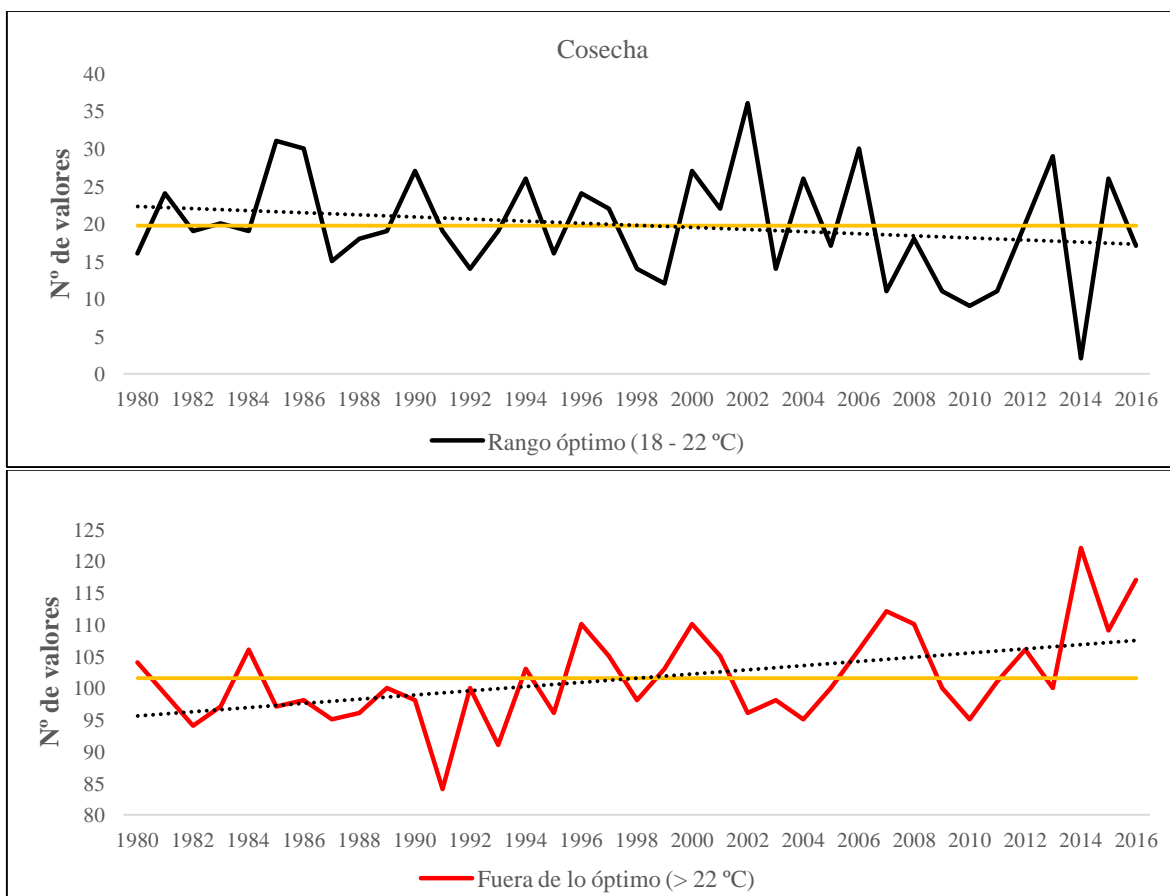


Figura 25. Comportamiento de la fase fenológica (cosecha) del cultivo de la vid, frente al Cambio Climático. Basado en las temperaturas máximas, mínimas y promedio registradas de Mayo 15 a Julio 15 por medio del modelo Daymate para el período 1980 – 2016 mediante la herramienta de extracción de un solo pixel, sobre las coordenadas (Latitud: 28.7035 y Longitud: -111.4237). La línea naranja indica la media de los valores y la línea punteada su tendencia a futuro.

Como se puede apreciar en la figuras anteriores, tanto los procesos como las fases fenológicas del cultivo de la vid (con excepción de floración), están siendo afectadas negativamente por el aumento de las temperaturas. No obstante, en la región sobre el cultivo de la vid son comunes e indispensables las practicas agronómicas que minimizan dichos efectos, haciéndolos inadvertidos:

- Aplicación de Cianamida Hidrogenada (H_2CN_2), para contrarrestar la falta de acumulación de frío y mejorar la brotación.

- Durante la fase de envero a maduración se aplica Ácido Giberélico (AG₃), para regular el crecimiento de la baya; se Anilla, para el crecimiento de la baya y aceleración de la maduración así como la acumulación de azúcar; se Despuntan guías, para mejorar la maduración y facilitar las aplicaciones de Ethrel (Etefón); el cual tiene como propósito mejorar la coloración de las bayas.

Con respecto a la fase de floración esta, ha mostrado un efecto positivo correspondiente al aumento de las temperaturas. Sin embargo, la fase de floración no suele a ser un problema en la región, pues inclusive según la Agenda Técnica Agrícola de Sonora (2015), es común la práctica del Aclareo también conocida como Raleo, la cual consiste en eliminar racimos y parte de éstos (bayas o uvas) producto de la floración, con el fin de lograr mayor amarre, forma, peso y presentación de las uvas y reducir la compactación del racimo para su posterior comercialización.

Los principales efectos por el aumento progresivo de las temperaturas, genera periodos vegetativos más cálidos y largos sobre los cultivos, anticipándose así, los estadios fenológicos y con ellos la maduración. Ante esta circunstancia las regiones vitícolas se comportan de manera desigual, permitiendo que en algunas regiones la calidad de sus cosechas se vea aumentada, como es el caso de las regiones de clima frío situadas en los valles del Mosela y Rhin en Alemania (Jones *et al.*, 2005) y en cambio en otras regiones por lo general de climas cálidos, se generen importantes desafíos para mitigar las consecuencias negativas del incremento de las temperaturas durante el periodo vegetativo de la vid.

4.1.3.3. El Acuífero Costa de Hermosillo y el fenómeno de la sequía

Según la información en las Figuras 16 y 17, el fenómeno de la sequía puede estar afectando negativamente al acuífero de la Costa de Hermosillo, intensificándose esto en los años futuros; ya que al manifestarse dicho fenómeno como una disminución de la precipitación media anual así como también en un menor número de días de lluvia esto se puede reflejar en un volumen inferior de recarga sobre la cuenca hidrogeológica con el pasar de los años.

Varios investigadores: Balek, (1988); Simmers, (1990); Lerner, (1990); Custodio, (1997); Samper, (1997); dicen, que la recarga a un acuífero puede darse naturalmente debido a la precipitación, a las aguas superficiales, es decir, a través de ríos y lagos, o por medio de transferencias desde otras unidades hidrogeológicas o acuíferos; pero también puede darse de manera artificial producto de actividades como la irrigación, fugas de redes de abastecimiento o por infiltraciones de embalses y depósitos. Sin embargo ya que el fenómeno de la sequía está ligado a las precipitaciones es en este preciso factor donde el acuífero puede estar recibiendo un volumen menor de agua al que últimamente se ha estimado.

El acuífero de la Costa de Hermosillo tiene una recarga anual de 250 hm³ (152 hm³ corresponden a agua dulce y 98 hm³ a agua salada por intrusión marina), del agua dulce 73 hm³ entran de forma vertical y 79 hm³ de forma horizontal (Monreal *et al.*, 2002). El informe más reciente referente a la disponibilidad media anual del acuífero fue presentado por CONAGUA en el 2015; más este, está basado en los datos expuestos por Monreal *et al.* (2002). Es decir, no se ha trabajado en una actualización que muestre estimaciones nuevas, o bien mediciones distintas a dicha recarga.

Según Velasco *et al.* (2005), la sequía afecta los sectores vulnerables como lo es el sistema hidrológico, pues la inoportunidad de la lluvia puede significar de largo plazo, que puede extenderse por varios años; en una baja perceptible en caudal o volumen en los niveles de ríos, presas y acuíferos; disminución de los escurrimientos, lo cual provoca descenso de nivel y volumen en los cuerpos receptores; hasta situaciones críticas en las que las presas y lagos se sequen, así como que el nivel de los acuíferos disminuya sensiblemente. Por esta razón serán necesarios estudios actuales que presente información de la recarga media anual del acuífero Costa de Hermosillo frente al CC; con el consentimiento de que la unidad hidrogeológica año con año pierde un volumen de agua (en parte fósil) significativo de su almacenamiento poniendo en riesgo el sustento hídrico para las generaciones futuras en la región.

Por situaciones similares a lo anterior, Jury y Vaux (2005), mencionan que el mayor

problema del agua a nivel mundial es la escasez; y según datos proporcionados por la FAO (2006), para el año 2050, el volumen de agua disponible para riego será un 25% menos que el actual. Lo anterior será una realidad en la región de la Costa de Hermosillo si no se corrigen por ejemplo; las prácticas de riego agrícola, que según Méndez (2017), desperdician agua azul (proveniente del acuífero) al aplicar láminas de riego superiores a lo requerido por los cultivos, exponiendo el recurso a la contaminación y evaporación.

4.1.3.4. El cultivo de la Vid y el fenómeno de la Sequía

La sequía, puede provocar un año completo sin producción agrícola, tanto comercial como de autoconsumo principalmente en lo que respecta a la agricultura de temporal, lo que se traduce en los consecuentes problemas sociales y económicos de la población dependiente de este sector. No obstante no es el caso en la región de la Costa de Hermosillo ya que los cultivos agrícolas que se explotan en dicha región se sustentan en un 90% de agua subterránea (CONAGUA, 2013). Sin embargo, el sistema de producción agrícola de la Costa de Hermosillo no se caracteriza por ser eficiente en el uso y gestión de los recursos hídricos; por ejemplo, según Méndez (2017), a pesar de que la precipitación en el cultivo de la vid puede llegar a representar hasta un 24% de su demanda hídrica total, esta es desaprovechada pues se aplican láminas de riego superiores (hasta el doble) a la demanda de agua total de los cultivos; aun, cuando las precipitaciones representan una parte significativa de la necesidad hídrica de los mismos.

En otras palabras, aun con la manifestación de la sequía en la región de estudio (Figuras 16 y 17), la producción vitícola se mantiene en pie, pues su sustento no es el agua de lluvia sino el agua extraída del acuífero Costa de Hermosillo. No obstante, la sequía no solo se relaciona con impactos de tipo agrícola e hidrológico, sino que también: Meteorológicos, Bióticos, Económicos y Sociales (Tabla 6).

V. CONCLUSIÓN

- En la región de la Costa de Hermosillo, el Cambio Climático es una realidad con la expresión del aumento de las temperaturas durante los últimos 37 años (1980 – 2016). Este fenómeno ha provocado anomalías en cada uno de los meses que representan las estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno), por lo cual con el pasar del tiempo la región manifiesta principalmente inviernos más cálidos así como también veranos más intensos.
- Debido al aumento de las temperaturas, la evapotranspiración de referencia (ET_o) ha aumentado considerablemente. Esto sugiere que un mayor volumen de agua (por precipitación o riego agrícola) es evaporado y que también se puede estar presentando un aumento de la demanda hídrica de los cultivos que se explotan en la región; situación que afecta al acuífero con la disminución de su recarga y el aumento de las extracciones. A su vez, los cultivos pueden estar siendo afectados de forma negativa como ocurre con las fases fenológicas del cultivo de la vid (brotación, envero – maduración y cosecha) así como también su proceso fotosintético y de acumulación de horas frío.
- En consecuencia al calentamiento global se ha presentado como otro indicador del Cambio Climático en la región, el riesgo geológico ambiental hidrometeorológico de sequía, relacionado principalmente con el descenso de la precipitación ya que a pesar de que su clasificación con el método SPI es de Moderada, que es típica de un clima semiárido como el de la Costa de Hermosillo, es claro que se presenta un aumento en su intensificación como en su prolongación, ocasionándose una disminución de los periodos húmedos en la región, que inciden en la recarga y el mayor uso del agua subterránea para equilibrar el descenso.
- Los efectos de las expresiones del Cambio Climático (aumento de la temperatura y sequía) revelan la situación crítica en la cual se encuentra la Costa de Hermosillo, ya

que se pone aún más en riesgo el futuro de la extracción de un acuífero ya minado y que cuenta con una baja recarga media anual. Esto debido a que los principales impactos de dichos efectos presentan una interacción directa aparentemente negativa con el acuífero al influir con su disponibilidad de recarga, su calidad de agua y en un mayor volumen de agua demandado para satisfacer principalmente las necesidades agrícolas. Esta situación, dificultará e incidirá más la imposibilidad de sustentar la producción agrícola regional además de poner en riesgo el sustento hídrico de las generaciones futuras.

5.1. Recomendaciones

Considerando que el presente estudio se enfoca en que el CC está presente en la región de la Costa de Hermosillo; y que sus efectos perjudican el sustento hídrico además de los procesos y fases fenológicas del cultivo de la vid; será necesaria la investigación científica enfatizada a tales afirmaciones, por lo que se recomiendan llevar a cabo los siguientes estudios o investigaciones:

- *Actualización del comportamiento hidrodinámico, definición actualizada de la geometría y posición del frente de intrusión marina, reevaluación a casi 20 años de recarga media anual del acuífero Costa de Hermosillo frente al Cambio Climático.*
- *Efecto del Cambio Climático sobre la calidad del agua del acuífero Costa de Hermosillo.*
- *Comportamiento de los procesos y fases fenológicas del cultivo de la vid frente al Cambio Climático en la región de la Costa de Hermosillo.*
- *Comportamiento de la evapotranspiración real (ETc) del cultivo de la vid frente al Cambio Climático en la región de la Costa de Hermosillo.*

Es preciso también, contar con estudios relacionados al tema en mención con respecto a otros cultivos importantes que se explotan en la región como son: el nogal pacanero, la naranja, el trigo, la sandía, la calabaza y el garbanzo; ya que estos junto con la vid, son los principales

cultivos de la región y representan según Salazar et. al. (2012), el 92% del bombeo sobre el acuífero regional. Además es necesario considerar otro tipo de efectos, pues el nicho de los cultivos es amplio y considera todas las interacciones posibles como pueden ser: interacciones (planta-ambiente, planta-suelo, planta-organismos benéficos, planta-patógeno, etc.) por mencionar algunos.

Por otra parte, es importante también medir la aportación de la explotación agrícola de la Costa de Hermosillo como medio impulsor para la presencia del CC. Esto puede hacerse calculando la huella de carbono de los cultivos, con el propósito de establecer medidas de mitigación y/o adaptación (ver Apéndice 1) frente al mismo, mejorando las prácticas agrícolas hacia una mejoría del sistema productivo que además repercute de forma positiva al ciclo hidrogeológico natural y a su vez, al manejo antropogénico del mismo.

VI. REFERENCIAS CITADAS

- Agenda Técnica Agrícola de Sonora. 2010. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación ISBN volumen: 978-607-7668-16-9 ISBN obra completa: 978-607-7668-39-8.
- Almanza, P.J. 2011. Determinación del crecimiento y desarrollo del fruto de vid (*Vitis vinífera* L.) bajo condiciones de clima frío tropical. Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia Facultad Agronomía, Escuela de Posgrados. Bogotá D.C., Colombia. 148 p
- ALLEN, R. G; PEREIRA, Luis S.; RAES, D. y SMITH, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. Rome. Documento en línea. <http://www.fao.org/docrep/> . [consultado: 11/11/02].
- Andrews, Robert. 1981. Salt-water Intrusion in the Costa de Hermosillo, Mexico: A Numerical Analysis of Water Management Proposals. *Ground Water* 19 (6): 635-647.
- Aparicio, F. J. 2011. Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa. 1ª. D. F., México. 304 p.
- Ariel Construcciones S. A. 1968. Estudio hidrogeológico completo de los acuíferos de la Costa de Hermosillo, Sonora, México. Hermosillo.
- Arrhenius, S.1896. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Phil. Mag.* 41:237.
- Baede, A.P.M. (Netherlands; editor) (2015). «Annex I. Glossary: IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change» (PDF). Intergovernmental Panel on Climate Change. p. 942. Consultado el 13 de noviembre de 2015.
- BALEK, J. Groundwater recharge concepts. En: *Estimation of Natural Groundwater Recharge*. Boston: Ed. Reidel, NATO ASI Series, 1988. p. 3-9.
- Barriopedro, D., E. Fischer, J. Luterbacher, R. Trigo y R. García. The Hot Summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe. *Science* 332(220): 220-224. 2011.

- Bates, B.C., Kundzewicz, Z. W., Wu S. y Palutikof, J.P. (2008). El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224 p.
- Bittelli, M. 2010. Measuring Soil Water Potential for Water Management in Agriculture: A Review. *Sustainability*, (2): 1226-1251.
- Bogumil Terminski, Environmentally-Induced Displacement. Theoretical Frameworks and Current Challenges, Liege, 2012.
- BONNAIRE, A. y RIEDER, G. 1985. "Cianamida Hidrogenada"
- Branas, J., Bernon, G. y Levadoux, L. (1946). *Éléments de Viticulture Générale*. Bourdeaux, Ed. Delmas.
- Cabanillas, Cecilia. 1985. Determinación de patrones óptimos de cultivos para la región agrícola de la Costa de Hermosillo. Tesis de ingeniero industrial administrador, Universidad de Sonora.
- CALLEGAR, G. S., 1938: The artificial production of carbón dioxide and its influence on tempearture. *Q. J. Roy. Met. Soc.*, 64, p.223.
- Campos (2015). Contraste de los índices DPP, SPI y RDI para clasificación de sequías, en la estación climatológica Zacatecas, México. *Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. VI, núm. 1, enero-febrero de 2015, pp. 183-193
- Campos, D. F. 1998. Procesos del ciclo hidrológico. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). 3ª. San Luis Potosí, México. 500 p.
- Cárdenas, Efraín. 1981. Determinación de un patrón de cultivos óptimo que satisfaga la disponibilidad de agua existente en la Costa de Hermosillo. Tesis de maestría en administración, Universidad de Sonora.
- Castillo, José. 2000. La intrusión salina en la Costa de Hermosillo, Sonora, México. En *Quinto seminario. Acuíferos costeros de Sonora*, 50-60. Hermosillo: Universidad de Sonora.
- Castro, José Arturo. 1998. Modelo numérico de intrusión salina en la Costa de Hermosillo, Son., con base en estudios geofísicos. Tesis de maestría en ciencias, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México.

- Cenapred. *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2000*. Segob. México. 2001.
- Cenapred. *Tormentas severas*. Serie Fascículos. México. 2014. Disponible en: www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/189FASCCULOTORMENTASSEVERAS.PDF.
- Comunatic, S. A. 1986. Proyecto ejecutivo para el aprovechamiento integral de la presa Abelardo L. Rodríguez y el ordenamiento ecológico del distrito de riego Costa de Hermosillo. Hermosillo.
- CONAGUA (2002), Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Costa de Hermosillo, Estado de Sonora (2002), México, Gerencia de aguas subterráneas /CONAGUA.
- CONAGUA 2008. Estadísticas del Agua en México. Comisión Nacional del Agua-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ed. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 233 pp
- CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Costa de Hermosillo (2619), Estado de Sonora. Publicada en el Diario Oficial de la Federación. 20 de abril 2015. 16 pp.
- CONAGUA. 2013. Estadísticas del agua en México. Comisión Nacional del AGUA-SEMARNAT, México DF. 176 pp.
- Conagua. *Reporte del Clima en México. Reporte Anual 2015*. Conagua. México. 2015.
- Conde, C. y S. Saldaña. 2007. Cambio Climático en América Latina y el Caribe: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación. Revista Ambiente y Desarrollo. Vol. 23 (2): 23-30. Santiago de Chile.
- Cruz, Miguel. 1969. El proceso administrativo en la agricultura de la Costa de Hermosillo. Tesis de ingeniero agrónomo, Universidad de Sonora.
- CUSTODIO, E.; Recarga a los acuíferos: Aspectos generales sobre el proceso, la evaluación y la incertidumbre. En: La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica. TEXTOS DEL SEMINARIO CELEBRADO EN LAS PALMAS DE

- GRAN CANARIA. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. 1997. p. 19-39.
- D.F. Campos Aranda, 1998. Procesos del Ciclo Hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ingeniería. San Luis Potosí, S.L.P., México, 1998.
- Delgado, G.H. Volcano-ice interactions in Mexico: Extinction of glaciers at Popocatepetl and the fate of the glaciers of Iztaccíhuatl and Citlaltépetl volcanoes. *American Geophysical Union*. Spring Meeting. Acapulco, México. 22- 25 May. México. 2007.
- Delgado, G.H., J. Miranda, C. Huggel, S. Ortega del Valle y M.A. Alatorre Ibarquengoitia. Chronicle of a death foretold: Extinction of the small-size tropical glaciers of Popocatepetl volcano (México). *Global and Planetary Change* 56: 13–22. 2007.
- Díaz, Rolando, Lucía Castro y Patricia Aranda. 2014. Mortalidad por calor natural excesivo en el noroeste de México: condiciones sociales asociados a esta causa de muerte. *Frontera Norte XXVI* (52):155-177.
- Easterling DR, Meehl GA, Parmesan C, Changnon SA, Karl TR, Mearns L (2000). Climate extremes: observations, modelling and impacts. *Science*, 289:2068-2074.
- FAO. 2006. Riego y drenaje. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO. N° 65. Roma. Italia.
- Fernández, F. 1995. Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación. Síntesis S.A. Madrid España 285. p.
- Fraser, E., 2008. “Crop yield and climate change”, Retrieved on 2009-09-14.
- GIL, G. 1997. “El potencial productivo. Santiago. Ediciones Universidad Católica de Chile”. 342.
- Gonzalez, R. (1998). CARACTERIZACIÓN FOTOSINTÉTICA DE ÁRBOLES DE LA LAURISILVA CANARIA (*Laurus azorica*, *Persea indica* y *Myrica faya*) UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA 1998. Tenerife España.
- Guevara D. J. La fórmula de Penman-Monteith FAO 1998 para determinar la evapotranspiración de referencia, ETo Terra Nueva Etapa, vol. XXII, núm. 31, 2006, pp. 31-72 Universidad Central de Venezuela Caracas, Venezuela

- Guía Técnica para el Área de Influencia del Campo Experimental Costa de Hermosillo. 2010. primera edición. Centro de investigación regional del noreste campo experimental Costa de Hermosillo, Sonora, México. ISBN: 978-607-425-433-4.
- Hidalgo, L. & Hidalgo, J. (2011). Tratado de viticultura (4a ed.) (Vol. 1). Madrid: Mundi-Prensa.
- Hodges, T. 1991. Introduction in Predicting Crop Phenology. CRC Press. Boca Raton, FL.
- IEA. *CO₂ Emissions from Fuel Combustion. Highlights*. 2015 Edition. IEA. France. 2015.
- IMTA. (2007). Gaceta IMTA Número 7, noviembre 2007. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), México. 10 p. Disponible en internet: <http://www.imta.mx/gaceta/anteriores/g07-11-2007/gaceta-imta-07.pdf>
- INE, Semarnat y UNAM. *Evaluación regional de la vulnerabilidad actual y futura de la zona costera mexicana y los deltas más impactados ante el incremento del nivel del mar debido al calentamiento global y fenómenos hidrometeorológicos extremos*. Informe Final INE/A1- 051/2008. INE, Semarnat y UNAM. México. 2008.
- INECC, Semarnat. Dirección de Modelos Sectoriales de Desarrollo Bajo en Carbono. INECC, Semarnat. México. 2015.
- INECC, Semarnat. *México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. INECC, Semarnat. México. 2012.
- INECC, Semarnat. *Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. INECC, Semarnat. México. 2015.
- IPCC (2001). Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2001: Synthesis Report, Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York.
- IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
- IPCC. *Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. IPCC. 2014.

- IPCC. *Climate Change 2007: The physical science basis. Summary for policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. France. 2007a.
- IPCC. *Climate change and water*. IPCC Technical Paper VI. IPCC. Switzerland. 2008.
- IPCC. *Summary for Policymakers Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. United Kingdom y USA. 2013.
- IPCC. *The AR4 Synthesis Report*. IPCC. France. 2007b.
- Jiménez, B., y L. Marín (editores). 2004. *El agua en México vista desde la academia*. México: Academia Mexicana de Ciencias.
- Jones, G. V, White, M. A., Cooper, O. R. & Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. *Clim. Change* 73 , 319–343.
- Jones, G. y R. E. Davis. 2000. Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. *Am. J. Enol. Vitic.* 51(3): 249-261.
- Jury Wa. Jr., H. Vaux 2005. The role of science in solving the world's emerging water problems. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 102, 15715-15720.
- Kennedy, J. 2002. Understanding grape berry development. *Practical Winery and Vineyard*. July/August.
- Koch GW, Mooney H.A (1996). *Carbon dioxide and terrestrial ecosystems*. San diego: Academic Press.
- Leith H (1975). Modeling the primary productivity of the world. In: Leith H, Whittaker RH, (eds), *Primary productivity of the biosphere*. Berlin: Springer-Verlag.
- LERNER, D.N.; Techniques. En: *Groundwater recharge. A guide to understanding the natural recharge*. Hannover: Ed. R. van Acken GmbH, 1990. p. 99-229.
- Loaiza, W.; Carvajal, Y. & Baquero, O. (2014): *Sequías y Adaptación. Principios para su evaluación en sistemas productivos agrícolas del Valle del Cauca, Colombia*. Cali, Programa editorial de la Universidad del Valle, 149 pp.

- Lucero, A. 1997. Análisis probabilístico espacial y temporal de las precipitaciones pluviales anuales de la VII región. Escuela de Ingeniería Forestal, Facultad de Recursos Naturales. Universidad de Talca. Talca. Chile. 69 p.
- Lynch, S. y Schulze, R. 1997. Techniques for estimating areal daily rainfall. Departamento of Agricultural Engineering. University of Natal. South Africa. Internet: Jan-1998. 10p.
- Llamas, J. 1993. Hidrología general. Principios y aplicaciones. Editorial universidad del país Vasco. Bilbao. España. 635 p.
- Lloret F, Peñuelas J, Estiarte M (2004). Experimental evidence of reduced diversity of seedlings due to climate modification in a Mediterranean-type community. *Global change biology*, 10:248-258.
- MacDougall, A., C. Avis y J. Weaver. Significant contribution to climate warming from the permafrost carbon feedback. *Nature Geoscience* 5: 719–721. 2012.
- Macías, (2009). Estimación de la evapotranspiración de cultivo y requerimientos hídricos del tomate (*Solanum lycopersicum* Mill. Cv. El Cid) en invernadero. Jiquilpan, Michoacán, Diciembre de 2009.
- Martínez (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, XXXVIII (2005) 315-332 / ISSN:1133-3677
- Mawdsley, J., Petts, G., & Walker, S. (1994). *Assessment of Drought Severity* (41 pp.). Occasional Paper No. 3. London: British Hydrological Society.
- McGregor, G. R., and Nieuwolt, S. (1998). *Tropical climatology: an introduction to the climates of the low latitudes* (No. Ed. 2). John Wiley and Sons Ltd
- Mckee, T.; Doesken, N. & Kleist, J. (1993): "The relation of drought frequency and duration to time scales", en: *Proceeding of the Eight Conference on Applied Climatology [January 17-22, 1993, Boston. USA]*. Boston, American Meteorological Society, pp. 179-184.
- Medina, G., Madero, J., Grageda, J., & Márquez, A. 2008. Caracterización y selección de sitios potenciales para la vid en México, Delimitación con Sistemas de Información Geográfica. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas Y Pecuarias

- (INIFAP). Centro De Investigación Regional Norte Centro. Campo Experimental Zacatecas.
- Méndez. 2017. La huella hídrica en la región agrícola de la Costa de Hermosillo, Sonora, México; como herramienta de sustentabilidad hidrogeológica.
- Miguel Rangel Medina, 2006. “Propuesta de un modelo integral para la recuperación de un acuífero intrusionado, sometido a uso intensivo de agua subterránea: El acuífero Costa de Hermosillo, Sonora, México”. Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica, Octubre, 2006.
- Monreal, R., M. Rangel, J. Castillo y M. Morales. 2002. *Estudio de cuantificación de la recarga del acuífero de la Costa de Hermosillo, municipio de Hermosillo, Sonora, México*. Hermosillo: Universidad de Sonora.
- Monreal, Rogelio, J. Castillo, M. Rangel, M. Morales, L. Oroz y H. Valenzuela “La Intrusión Salina en el Acuífero de la Costa de Hermosillo, Sonora” Publicado en: Corona-Esquivel. R y Gómez-Godoy, J., 2001, Acta de Sesiones de la XXIV Convención Internacional en Acapulco Guerrero 17-20 de octubre del 2001, organizado por la Asociación de Ingenieros de Minas Metalurgistas y Geólogos de México A.C., pp. 93-98.
- Morales, J. (2005): “El efecto de la longitud de registro en el cálculo del índice de precipitación estándar” (Maestría en Ingeniería Hidráulica), México, Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, 111 pp.
- Moreno Vázquez, José Luis. 2006. *Por debajo del agua. Sobreexplotación y agotamiento del acuífero de la Costa de Hermosillo, 1945-2005*. Hermosillo: El Colegio de Sonora.
- Mullins, M. G., A. Bouquet y L. E. Williams. 1992. *Biology of the Grapevine*. Cambridge Univ. Press. New York.
- Murray R. *et al.* 2000. Libro de Probabilidad y Estadística 3ra Edición. DERECHOS RESERVADOS C 2010,2002,1978, respecto a la tercera edición por MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Noy-Meier, I. (1973): Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 25-52.

- Or E, Vilozny Y, Nir G, Ogradovitch A and Belauso E (2000). Timing of hydrogen cyanamide application to grapevine buds. 4th International symposium on table grape. La Serena, Chile.
- Organización Meteorológica Mundial, 2012: *Guía del usuario sobre el Índice normalizado de precipitación* (OMM-Nº 1090) (M. Svoboda, M. Hayes y D. Wood), Ginebra.
- Padilla FM, Pugnaire FI (2007). Rooting depth and soil moisture control Mediterranean woody seedling survival during drought. *Functional Ecology*, 21:489-495.
- Pasho, E.; Camarero, J.; De Luis, M. & Vicente, S. (2011): “Impacts of drought at different time scales on forest growth across a wide climatic gradient in north-eastern Spain”. *Agricultural and Forest Meteorology*, [en línea], 151, pp. 1800-1811. [Fecha de consulta: 16 de febrero de 2014]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016819231100253X> (Verificada: 27/08/15).
- Peixoto, J. P. (1987). O Sistema Climático e as Bases Físicas do Clima. Gabinete de Estudos e Planeamento da Administração do Território SEARN_MPAT. Lisboa, pp.187.
- Pizarro, R. 1996. Analisis comparative de modelos matematicos precipitacion –escorrentia en cuencas de la España peninsular. Departamento de ingeniería forestal, Escuela tecnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politecnica de Madrid. Madrid. España.320 p.
- Puebla Menchaca, Víctor Manuel.1987. Estudio geo-hidrológico de la Costa de Hermosillo. Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rabatel, A., B. Francou, A. Soruco, *et al.* Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *The Cryosphere* 7: 81-102. 2013.
- Rangel Medina, M., R. Monreal S., M. Morales M., J. Castillo (2002). “Vulnerabilidad a la intrusión marina de acuíferos costeros en el Pacífico norte mexicano; un caso, el acuífero Costa de Hermosillo, Sonora, México”. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología*, No. 2: 31-51.
- Rangel, M., R. Monreal, M. Morales y J. Castillo. 2003. Caracterización geoquímica e isotópica del agua subterránea y determinación de la migración de la intrusión marina en el acuífero de la Costa de Hermosillo, Sonora. En *Tecnología de la intrusión de*

- agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos*, editado por J. A. López Geta, J. de Dios Gómez, J.A. de la Orden, G. Ramos y L. Rodríguez, 325-335. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Reynier, A. (1995). *Manual de Viticultura*. Ed. Mundi-Prensa, S.A., Madrid, España.
- Rind D. Goldberg R, Ruedy R (1989). Change in Climate variability in te 21st century. *Climatic Change*, 14:537.
- Rodríguez, Beatriz y María Elvira Pérez. 1991. Estudio hidrogeoquímico de la Costa de Hermosillo y el valle de Guaymas en el estado de Sonora. Tesis de ingeniero geólogo, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional.
- Rodriguez, J.C., Grageda J., Watts C.J., A. Garatuza-Payan J., Castellanos-Villegas A., Rodriguez-Casas J., Saiz J., Olavarrieta V. 2010. Water use by perennial crops on the lower Sonora watershed, *Journal of Arid Environment*, 74:603-610.
- Román R, L., Díaz, T., López, A. J., Watts, C., Cruz, B. F., Rodríguez, C. J., Rodríguez, J. C. 2017. Evapotranspiración del cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*) en la Costa de Hermosillo Sonora, México.
- Sala OE & Lauenroth WK (1982). Small rainfall events: an ecological role in semiarid regions. *Oecologia*, 53:301-304.
- Salazar, A., J. Moreno y A. Lutz. 2012. Agricultura y manejo sustentable del acuífero de la Costa de Hermosillo. *Región y Sociedad*, 24(3):155-179.
- Salazar. 2015. VARIABILIDAD DE LA TEMPERATURA Y DE LA PRECIPITACIÓN, EN LA CIUDAD DE TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO. PERIODO: 1970-2013. Toluca, Estado de México. Junio del 2015.
- SAMPER, F.J.; Métodos de evaluación de la recarga por la lluvia por balance de agua: utilización, calibración y errores. En: La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica. TEXTOS DEL SEMINARIO CELEBRADO EN LAS PALMAS DE GRAN CANARIA. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. 1997. p. 41-79.
- Sanders, O., Goesch, T., Hughes, N., 2010. Adapting to Water Scarcity. ABARE Issues and Insights 10.5, Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics, Canberra, ACT.

- Seager, R., Kushnir, Y., Chang, P., Naik, N., Miller, J., and Hazeleger, W. (2001). Looking for the Role of the Ocean in Tropical Atlantic Decadal Climate Variability. *J. Climate*, 14(5), 638-655.
- SEMARNAT. (2009): “Cambio Climático. Ciencia, Evidencia y Acciones”. Dir. Gral. Estadística e Información Ambiental.
- Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015*. Semarnat. México. 2016.
- Semarnat. *Programa Especial de Cambio Climático 2014–2018 (PECC)*. Semarnat. México. 2014b.
- Shaver GR *et al.* (2001). Global warming and terrestrial ecosystems: A conceptual framework for analysis. *Bioscience*, 50:871-882.
- Sheng, 1992. Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas: estudio y planificación de cuencas hidrográficas. Guía de la FAO conservación 13/6. Roma. Italia 185 p.
- Shepherd, Dr. J. Marshall; Shindell, Drew; O'Carroll, Cynthia M. (1 de febrero de 2005). «What's the Difference Between Weather and Climate?». NASA. Consultado el 13 de noviembre de 2015.
- SIMMERS, I.; Aridity, groundwater recharge and water resources management. En: Groundwater recharge. A guide to understanding the natural recharge. Hannover: Ed. R. van Acken GmbH, 1990. p. 1-20.
- Simonovic S.P. y L. Li. 2003. Methodology for Assessment of Climate Change Impacts on Large-Scale Flood Protection System. *J of Water Res and Plann Management*. 129, 5, 361-371.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SIAP-SAGARPA). 2012. Cierre de la producción agrícola por estado. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351.

- Soulis, K. X., S. Elmaloglou, and N. 2015. Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture based drip irrigation scheduling systems. *Agricultural Water Management* 148:258–268.
- Steinich, B., Escolero, O., Marín, L.E., 1998. Salt-water intrusion and nitrate contamination in the Valley of Hermosillo and El Sahuaral coastal aquifers, Sonora, Mexico. *Hydrogeol. J.* 6, 518–526
- Susarrey. 2014. MODELACIÓN DEL SISTEMA PRODUCTIVO PARA UN VIÑEDO VITIVINÍCOLA EN LA REGIÓN DE CANANEA. UNIVERSIDAD DE SONORA, FEBRERO 2014.
- Teegavarapu, R. S. and Chandramouli, V. 2005. Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records. *J. Hydrol.* 312(1-4):191-206.
- Thornton, P.E., H. Hasenauer, and M.A. White. 2000. Simultaneous estimation of daily solar radiation and humidity from observed temperature and precipitation: an application over complex terrain in Austria. *Agricultural and Forest Meteorology.* 104(4):255 - 271. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1923\(00\)00170-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00170-2)
- Thornton, P.E., S.W. Running, and M.A. White. 1997. Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain. *Journal of Hydrology.* 190(3-4):214 - 251. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03128-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03128-9)
- UNCCD. Convención de las Naciones Unidas para la lucha contra la desertificación. Entrada en vigor 1996. UNCCD. Disponible en: [www. onu.cl/onu/unccd/](http://www.onu.cl/onu/unccd/). Fecha de consulta: agosto de 2015.
- UNISON (Universidad de Sonora), 2001, Estudio de cuantificación de la recarga del acuífero “Costa de Hermosillo”, Municipio de Hermosillo, Sonora: México, D. F., Comisión Nacional del Agua, Contrato SGT-GRNO-SON-01-026-CE-13, Tomos I y II, XII-7 p.
- Vázquez, V. N. 2011. Asociación agrícola de productores de uva de mesa, modelo de la agricultura moderna en México en el siglo XXI. Fundación Produce Sonora, A. C. 92p.

- Vega, Lourdes y Juan Saiz. 1995. Estudio del balance de agua de la zona agrícola de la Costa de Hermosillo. *Boletín del Departamento de Geología*. Universidad de Sonora 12 (2): 93-104.
- Velasco, I; Ochoa, L; Gutierrez, C. (2005). Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Región y sociedad* vol.17 no.34 Hermosillo sep./dic. 2005
- Velasco, I. (2002). Detalle teórico metodológico del SPI. Anexo 26 (pp. 188-195). En *Plan de preparación para afrontar sequías en un distrito de riego*. Tesis doctoral. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelos.
- Vicente, S. & López, J. (2005): “Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin”. *Hydrology and Earth System Sciences*, [en línea], 9, pp. 523-533. [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2013]. Disponible en: <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/9/523/2005/hess-9-523-2005.pdf> (Verificada: 27/08/15).
- Vicente, S.; Beguería, S. & López, J. (2011): “Comment on “Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index (PDSI) during 1900-2008”. *Journal of Geophysical Research*, [en línea], 116, pp. 1-9. [Fecha de consulta: 17 de febrero de 2014]. Disponible en: http://digital.csic.es/bitstream/10261/41161/1/BegueriaS_JGeophysRes_2011.pdf (Verificada: 27/08/15).
- Vincent, K. (2007): “Uncertainty in adaptive capacity and the importance of scale”. *Global Environmental Change*, [en línea], 17, pp. 12-24. [Fecha de consulta: 15 no- viembre de 2013]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378006000884> (Verificada: 27/08/15).
- Vitousek PM. 1994. Beyond warming: Ecology and global change. *Ecology* 75:1862-1876.
- Webster, P.J., G.J. Holland, J.A. Curry y H.R. Chang. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science* 309: 1844-1846. 2005.
- WEF. 2014. Global Risks 2014 Ninth Edition. World Economic Forum, Genova. 60 pp.
- Weltzin, J. F., M. E. Loik, S. Schwinning, D. G. Williams, P. A. Fay, B. M. Haddad, J. Harte, T. E. Huxman, A. K. Knapp, G. H. Lin, W. T. Pockman, M. R. Shaw, E. E. Small, M.

- D. Smith, S. D. Smith, D. T. Tissue, and J. C. Zak. 2003. Assessing the response of terrestrial ecosystems to potential changes in precipitation. *BioScience* 53: 941-952.
- West, R. C. 1993. *Sonora its Geographical Personality* University of Texas Press, Austin, Texas.
- Wicks A.S., J.O. Johnson, E. Bracho, F.L. Jensen, R.A. Neja, L.A Lider and R.J. Weaver 1984. Induction of early and more uniform budbreak in *Vitis vinifera* L. cvs Perlette, Thamsen seedless, and Flame seedless, p48 – 58. In R.J Weaver (ed) *Proceedings of bud dormancy in grapevine: Potencial and practical use of hydrogen cyanamide on grapevine*. Univ. of California, Davis
- WMO. 1983. *Guide to climatological practices*. WMO-No100. Ginebra, Suiza. 180 p.
- WMO. *Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes 1970-2012*. WMO. Switzerland. 2014b.
- Zambrano, Ovidio. 1971. *Análisis económico del uso de agua, mano de obra y maquinaria agrícola en la Costa de Hermosillo*. Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Centro de Economía Agrícola, Chapingo.

APÉNDICE 1. ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Según información de Semarnat (2016), los posibles impactos del CC serán variables en función de las distintas condiciones sociales, ambientales y económicas presentes en el territorio. En la medida en que las políticas y estrategias sean adecuadas y exitosas, la mitigación de las emisiones globales podría redundar en cambios menos severos en el clima y en una mayor y mejor capacidad para enfrentar los efectos del CC.

La problemática debido al CC, se ha convertido en uno de los desafíos más importantes y urgentes para atender por la comunidad internacional. México considera el CC como un asunto de seguridad nacional y por ello se ha preocupado desde hace varios años por impulsar medidas de mitigación y adaptación a este fenómeno global (Tablas 13, 14 y 15), lo que le ha permitido destacar a nivel internacional (Semarnat, 2016).

Tabla 13. Estrategias y políticas adoptadas por México en materia de Cambio Climático (1).

<i>Estrategia/Política</i>	<i>Observaciones</i>
Contribución Prevista y Determinada a nivel Nacional para el periodo 2020-2030 (<i>iNDC; Intended Nationally Determined Contribution</i>)	En Marzo de 2015 México presentó su <i>iNDC</i> , donde establece compromisos voluntarios y no condicionados apegados a los objetivos, instrucciones y prioridades establecidas en la Ley General de Cambio Climático, así como con los acuerdos asumidos ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. La meta de mitigación a 2030 consiste en la reducción del 22% de las emisiones de GEI. En lo referente a adaptación, se planteó como metas: reducir en 50% el número de municipios vulnerables (160 municipios); alcanzar en el 2030 una tasa 0% de deforestación e instalar sistemas de alerta temprana y gestión de riesgo en los tres niveles de gobierno.
Ley General de Cambio Climático	En Junio de 2012 se publicó el decreto de esta ley que busca entre otras cosas regular las emisiones de gases de efecto invernadero; regular las acciones para la mitigación y adaptación al Cambio Climático; reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas y promover una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.
Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) Visión 10-20-40	Publicada en 2013, "...es el instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazos para enfrentar los efectos del Cambio Climático y transitar hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono".

Fuente: Dirección de Modelos Sectoriales de Desarrollo Bajo en Carbono. INECC, Semarnat. México. 2015. Gobierno de la República. *Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40*. Gobierno de la República. México. 2013. Semarnat. *Acciones de México*. Semarnat. México. 2010. Disponible en: www.cambioclimático.gob.mx. Fecha de consulta: Marzo de 2012. Semarnat, CCE, CESPEDES, WRI y WBCSD. *Programa GEI México*. Semarnat. México. Disponible en: www.geimexico.org. Fecha de consulta: Septiembre de 2013. Semarnat. Dirección General Adjunta para Proyectos de Cambio Climático. Semarnat. México. 2012.

Tabla 14. Estrategias y políticas adoptadas por México en materia de Cambio Climático (2)

<i>Estrategia/Política</i>	<i>Observaciones</i>
Sistema Nacional de Cambio Climático (SINACC)	Se instaló en diciembre de 2015 para lograr la coordinación efectiva de los distintos órdenes de gobierno y la concertación entre los sectores público, privado y social. La LGCC prevé la integración del Sistema Nacional de Cambio Climático (SINACC).
Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC)	El PECC incluye medidas que reducirán la emisión de gases de efecto invernadero y mejorarán nuestra capacidad de respuesta ante fenómenos ambientales.
La Economía del Cambio Climático en México	Publicado en el 2009, este estudio estima los costos económicos que el cambio climático antropogénico podría generar para nuestro país.
Comunicaciones Nacionales ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	México ha asumido el compromiso internacional de presentar Comunicaciones Nacionales y es el único país en desarrollo que ha presentado su Quinta Comunicación Nacional (2012). Actualmente se prepara la Sexta Comunicación Nacional, la cual se publicará en Junio de 2017.
Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	El último inventario (2013) incluye las emisiones antropogénicas por fuente y sumidero de todos los gases de efecto invernadero.
Programa GEI México	Es un programa nacional voluntario de contabilidad y reporte de GEI y de proyectos de reducción de emisiones.
Comisión Intersecretarial de Cambio Climático	La Comisión se creó en 2005 y tiene como atribución principal coordinar la planeación e integración sectorial de las políticas nacionales en materia de Cambio Climático.
Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero	Se creó en 2004 y funciona como Grupo de Trabajo de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático con la atribución de identificar oportunidades, así como facilitar y aprobar la realización de proyectos de reducción de emisiones y captura de gases de efecto invernadero en México.
Impulso a la eficiencia y tecnologías limpias para la generación de energía eléctrica	Para reducir las emisiones de GEI, combatir los efectos del Cambio Climático y contribuir a disminuir sus posibles efectos en el mediano y largo plazos, el Gobierno Federal ha puesto en práctica acciones orientadas a fomentar el uso de las energías renovables, disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, y generar ahorros y un óptimo aprovechamiento de la energía para el país.
Promoción al uso eficiente de energía en el ámbito doméstico, industrial, agrícola y de transporte	Eficiencia Energética en la Administración Pública Federal: Promueve el aprovechamiento sustentable de la energía y establece un proceso de mejora continua para fomentar la eficiencia energética en dependencias y entidades del Gobierno Federal. Desarrollo de vivienda sustentable: La Comisión Nacional de Vivienda otorga hipotecas verdes a viviendas de interés social equipadas con ecotecnologías para reducir sus emisiones bióxido de carbono.
Programas de adaptación al Cambio Climático	Existe una gran cantidad de programas, estudios e iniciativas para una adecuada adaptación al Cambio Climático a nivel nacional, sectorial, estatal, local y regional. A continuación y sólo con el fin de ejemplificar se enlistan algunos de ellos: Escenarios de Cambio Climático para México, Programa de modelación del clima: vulnerabilidad y adaptación en el sector agua; Vulnerabilidad del sector energía; Atlas Nacional de Vulnerabilidad y, Programas Estatales de Acción frente al Cambio Climático.

Fuente: Dirección de Modelos Sectoriales de Desarrollo Bajo en Carbono. INECC, Semarnat. México. 2015. Gobierno de la República. Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40. Gobierno de la República. México. 2013. Semarnat. Acciones de México. Semarnat. México. 2010. Disponible en: www.cambioclimático.gob.mx. Fecha de consulta: Marzo de 2012. Semarnat, CCE, CESPEDES, WRI y WBCSD. Programa GEI México. Semarnat. México. Disponible en: www.geimexico.org. Fecha de consulta: Septiembre de 2013. Semarnat. Dirección General Adjunta para Proyectos de Cambio Climático. Semarnat. México. 2012.

Tabla 15. Estrategias y políticas adoptadas por México en materia de Cambio Climático (3)

<i>Estrategia/Política</i>	<i>Observaciones</i>
Programas de comunicación y difusión del Cambio Climático	Programas de difusión y participación en actividades internacionales e integración del tema en políticas nacionales. Por ejemplo: Centro Nacional de Observación Climática de Gran Altitud; Participación en el Grupo Intergubernamental de Cambio Climático, entre otros. Existen también diversas publicaciones, tanto técnicas como de difusión al público en general, disponibles en las páginas electrónicas de la Semarnat e INECC.

Fuente: Dirección de Modelos Sectoriales de Desarrollo Bajo en Carbono. INECC, Semarnat. México. 2015. Gobierno de la República. Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40. Gobierno de la República. México. 2013. Semarnat. Acciones de México. Semarnat. México. 2010. Disponible en: www.cambioclimático.gob.mx. Fecha de consulta: Marzo de 2012. Semarnat, CCE, CESPEDES, WRI y WBCSD. Programa GEI México. Semarnat. México. Disponible en: www.geimexico.org. Fecha de consulta: Septiembre de 2013. Semarnat. Dirección General Adjunta para Proyectos de Cambio Climático. Semarnat. México. 2012.

A nivel local, se han elaborado los Programas Estatales de CC, las Leyes Estatales de CC y los Inventarios Estatales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (Figura 19). En el caso de los Programas Estatales de CC, en su elaboración se consideran las características socioeconómicas y ambientales, las metas de los planes de desarrollo estatal; el inventario estatal de emisiones de GEI; los escenarios de emisiones y potenciales de mitigación; así como el diagnóstico de vulnerabilidad actual y futura con un enfoque regional, considerando tanto las condiciones actuales como las condiciones futuras resultado del análisis de los escenarios de CC.

Estos programas son instrumentos de apoyo para el diseño de políticas públicas y acciones en materia de CC y plantean acciones y medidas para reducir las emisiones de GEI y la vulnerabilidad y aumentar la capacidad de adaptación de los sectores o sistemas que los estados identifiquen como prioritarios.

Como se aprecia en la Figura 26, en el estado de Sonora donde se localiza la región de la Costa de Hermosillo, si cuenta con programas estatales de acción e inventarios de emisiones de GEI en respuesta al CC. No obstante, el estado actualmente no cuenta con leyes que regulen o bien penalicen por ejemplo las emisiones de GEI como medida de acción frente al CC.

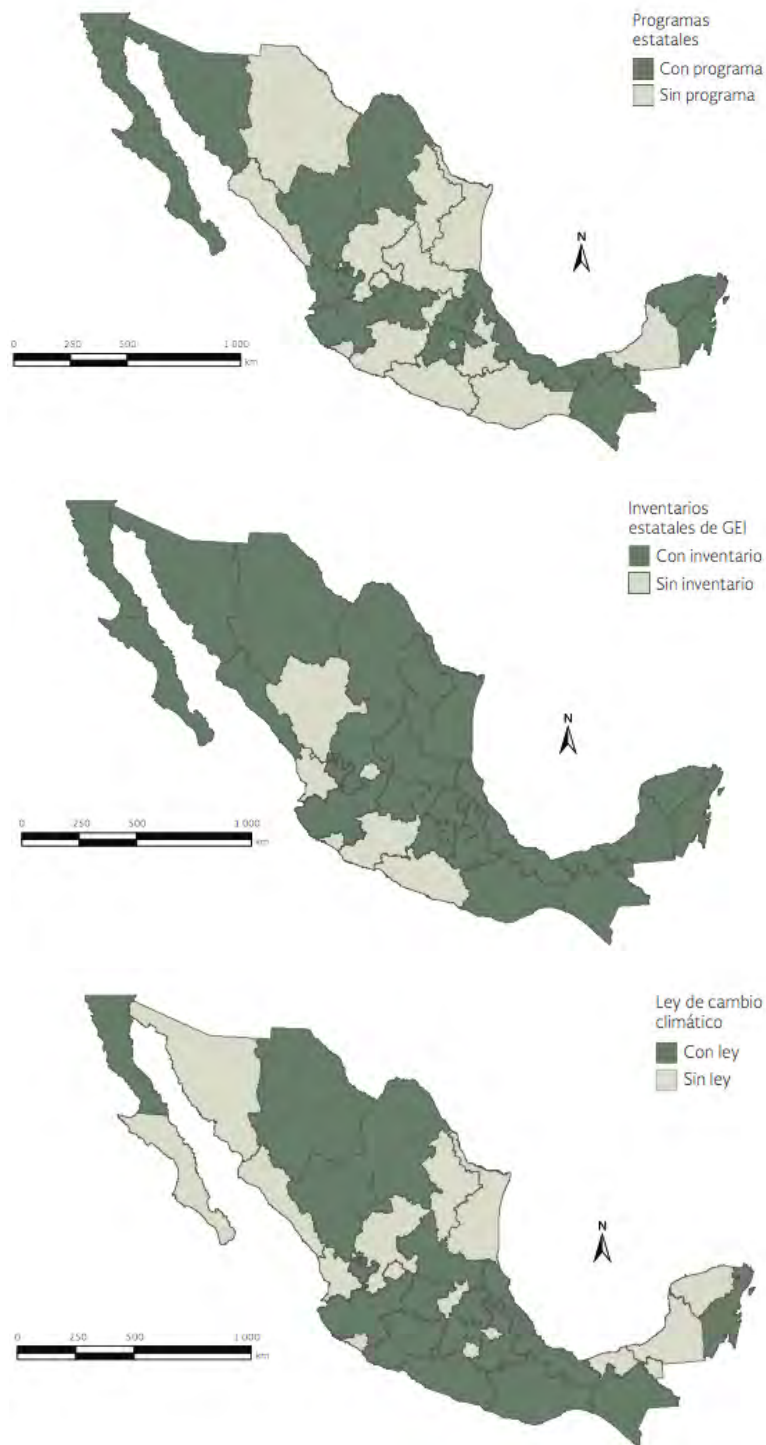


Figura 26. Programas estatales de acción, inventarios de emisiones de GEI y Leyes publicadas ante el Cambio Climático elaborados en 2015. Fuente: INECC. Acciones y Programas. Cambio Climático en México. Instrumentos de política pública en materia de Cambio Climático en las entidades federativas. INECC. México. Disponible en: www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/instrumentos-de-politica-publica-en-materia-de-cambio-climatico-en-las-entidades-federativas. Fecha de consulta: Mayo de 2016.