

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS



**ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD Y TENDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN EL ESTADO DE JALISCO DURANTE EL PERÍODO 1961-2010**

**TRABAJO DE TITULACION EN LA MODALIDAD DE
TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

P R E S E N T A
RENÉ NAVARRO RODRÍGUEZ

Las Agujas, Zapopan, Jal., Junio de 2015.

Dedicatorias

A la Vida por permitirme llegar a este momento tan especial. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han permitido valorarla cada día más.

A mi Madre, la persona que no conforme con darme la vida, me ha entregado la suya.

A mis Profesores. por su apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis.

A todas las personas que ayudaron directa o indirectamente en la realización de este trabajo.

La imaginación nos suele llevar a mundos en los que nunca hemos estado. Pero sin ella, no iríamos a ningún lado.

Carl Sagan

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su apoyo han contribuido en la realización del presente trabajo.

Agradezco infinitamente a Dios por todas las bendiciones que ha derramado sobre mí, por otorgarme la gracia de la vida y nunca abandonarme mientras persigo mis sueños. ¡Nunca pensé que este momento llegaría!

Mi eterna gratitud para la Universidad de Guadalajara por haberme dado la oportunidad de convertirme en profesionista.

A CONACYT por todas las facilidades dadas para la realización de este trabajo y por la oportunidad de mi primer empleo dentro de la investigación dentro del proyecto “Estrategia Regional para reducir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad de adaptación al cambio climático en la región del occidente de México”.

A mi madre porque sin escatimar esfuerzo alguno, ha sacrificado gran parte de su vida para formarme y porque nunca podré pagar todos sus desvelos, ni aún con las riquezas más grandes del mundo. Por lo que soy y por todo el tiempo que le robé pensando en mí.

A mis tías Dora y Laura por estar siempre en todo momento. Por abrirme su hogar y sentirme como si estuviera entre mi propia familia, por el apoyo y la confianza que me han brindado de forma desinteresada.

Quiero expresar mi más sincera gratitud a mi directora de tesis, la Dra. Valentina Davydova Belitskaya quien ha sido la mejor mentora. Por encaminarme en el camino de la investigación, por su paciencia, apoyo y confianza en mí como persona y en mi trabajo. Gracias por no perder la fe (y si así ha sido), gracias por recuperarla. Quiero que sepa que el trabajo exigido y que en su momento me hizo flaquear, ahora lo agradezco infinitamente porque fortaleció mi carácter, me enseñó a trabajar con mayor disciplina y sobre todo porque me hizo darme cuenta que puedo hacer más de lo que creo y así aprender a creer en mí. Gracias por sus consejos personales y académicos y por siempre escucharme.

Agradezco profundamente a mi asesor, Ing. Héctor Gerardo Frías Ureña, por apoyo en el desarrollo de mi tesis. Gracias porque cuando sentí que ya no podía siempre encontré usted palabras de aliento y confianza para seguir trabajando.

A mis sinodales: Dr. Miguel Ángel Macías Rodríguez, Dr. Jorge Pedro Topete Ángel y Dra. Martha Georgina Orozco Medina por todas sus observaciones sobre mi

trabajo, las cuales me ayudaron a mejorarla y por su apoyo incondicional. Gracias por aguantarme y escucharme.

Al Q.F.B. Ángel Pérez Zamora por sus consejos y compartir conmigo sus conocimientos sobre SIG.

A mis profesores Adrián Ricardo López González y Rafael Hernández García por las charlas, el aprendizaje, y la amistad.

Todo esto nunca hubiera sido posible sin el amparo incondicional de mis amigos: Alan Hinojosa, Alejandra Motta de la Parra, Alonso Álvarez, Artur Juszczyk, Arturo López, Bricia Soto, Dalma Paimann, Daniel Maya, Diego de León, Diego Vega, Eva Benavides, Gissel Garay, Gloria Aburto, Isabella Martínez Davydova, Iván Martínez Davydov, Lars Åberg, Luismi Rodríguez Sedano, Martín Ortíz, Miguel Ángel Bautista Mónica Torres y Tania Parada. Doy gracias a la vida por el invaluable regalo de su amistad, por los momentos de charla en que siempre me ayudaron a ver los problemas con un enfoque positivo teniéndome paciencia, y dándome ánimo y compañía en los momentos de crisis y felicidad.

Son muchas las personas que han formado parte de mí y a las que me encantaría agradecer su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Gracias eternas a todos.

CONTENIDO

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. JUSTIFICACIÓN.....	5
4. HIPÓTESIS.....	8
5. OBJETIVOS.....	9
5.1 Objetivo general.....	9
5.2 Objetivos específicos.....	9
6. ANTECEDENTES.....	10
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1 Conceptos y sus definiciones.....	17
Clima atmosférico.....	17
Escalas en Meteorología y Climatología.....	19
Variabilidad climática.....	21
Fenómenos meteorológicos extremos.....	22
Definición de cambio climático.....	22
Vulnerabilidad ante el cambio climático.....	23
7.2 Impactos del cambio climático.....	27
Medio físico y biodiversidad.....	27
Agricultura y seguridad alimentaria.....	30
Salud humana.....	31
8. METODOLOGÍA.....	33
8.1 Datos.....	33
8.2 Control de Calidad.....	35
8.3 Análisis de coherencia temporal y espacial.....	38

8.4	Desarrollo de archivos de metadatos.....	39
8.5	Homogenización.....	40
8.6	Cálculo de los índices de cambio climático.....	42
9.	DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....	47
9.1	Material geológico y Relieve.....	48
9.2	Suelos.....	49
9.3	Uso del suelo y vegetación.....	51
9.4	Hidrología.....	53
9.5	Climatología.....	54
	Clasificación de Köppen.....	56
	Climas del Estado.....	57
9.6	Temperatura del aire.....	59
9.7	Precipitación.....	61
9.8	Ciclones tropicales.....	63
10.	RESULTADOS.....	64
10.1	Control de calidad.....	64
10.2	Homogenización de las series de temperatura.....	66
10.3	Anomalías de Temperaturas.....	68
10.4	Análisis de Tendencias de los Índices de Cambio Climático.....	76
11.	DISCUSIÓN.....	87
11.1	Acerca del control de calidad.....	87
11.2	Coherencia espacial.....	90
11.3	Homogeneización de series de temperatura	90
11.4	Anomalías de temperatura.....	91
11.5	Análisis de tendencias del cambio climático (INDICES).....	92
12.	CONCLUSIONES	98

13.	LITERATURA CITADA.....	101
-----	------------------------	-----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Desarrollo de los PEACC a nivel nacional.....	16
Figura 2. Diagrama esquemático del sistema climático.....	18
Figura 3. Factores que determinan oscilaciones y cambio climático.....	19
Figura 4. Representación espacio-temporal de la escala de Orlanski.....	20
Figura 5. Función de distribución de la probabilidad de temperatura diaria.....	22
Figura 6. Principales impactos del cambio climático.....	27
Figura 7. Estaciones climatológicas del estado de Jalisco.....	34
Figura 8. Geoposicionamiento de las estaciones climatológicas del estado para el proceso de control de calidad.....	39
Figura 9. Pasos para el cálculo y análisis de los índices de cambio climático.....	45
Figura 10. Especificación de parámetros definidos por el usuario.....	46
Figura 11. Localización, límites y relieve del estado de Jalisco.....	47
Figura 12. Provincias fisiográficas del estado de Jalisco.....	48
Figura 13. Suelos presentes en el estado de Jalisco.....	51
Figura 14. Uso de Suelo y Vegetación del estado de Jalisco.....	52
Figura 15. Cuencas hidrográficas del estado de Jalisco.....	53
Figura 16. Mapa climático del estado de Jalisco.....	57
Figura 17. Mapa de distribución de la temperatura media en el estado de Jalisco.....	60
Figura 18. Distribución de la temperatura media en el estado de Jalisco a lo largo del año.....	60
Figura 19. Mapa de distribución de la precipitación total anual del estado de Jalisco.....	62
Figura 20. Distribución de la precipitación en el estado de Jalisco a lo largo del año.....	62
Figura 21. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas depuradas.....	65
Figura 22. Anomalía de temperatura máxima registrada por las estaciones durante el período climático 1971-2000.....	70

Figura 23. Anomalía de temperatura máxima registrada por las estaciones durante el período climático 1981-2010.....	71
Figura 24. Anomalía de temperatura máxima registrada por las estaciones durante el período climático 1991-2010.....	71
Figura 25. Anomalía de temperatura media registrada por las estaciones durante el período climático 1971-2000.....	73
Figura 26. Anomalía de temperatura media registrada por las estaciones durante el período climático 1981-2010.....	73
Figura 27. Anomalía de temperatura media registrada por las estaciones durante el período climático 1991-2010.....	74
Figura 28. Anomalía de temperatura mínima registrada por las estaciones durante el período climático 1971-2000.....	75
Figura 29. Anomalía de temperatura mínima registrada por las estaciones durante el período climático 1981-2010.....	75
Figura 30. Anomalía de temperatura media registrada por las estaciones durante el período climático 1991-2010.....	76
Figura 31. Distribución espacial de las tendencias del índice denominado valor máximo mensual de la temperatura máxima diaria (TXx) en el estado de Jalisco.....	81
Figura 32. Distribución espacial de las tendencias del índice denominado valor máximo mensual de la temperatura mínima diaria (TNx) en el estado de Jalisco.....	81
Figura 33. Distribución espacial de las tendencias del índice denominado porcentaje de días cuando TX > percentil 90 (Tx90p) en el estado de Jalisco.....	82
Figura 34. Distribución espacial de las tendencias del índice denominado Porcentaje de días cuando TN > percentil 90 (TN90p) en el estado de Jalisco.....	82
Figura 35. Distribución espacial de las tendencias del índice denominado Recuento anual de días con por lo menos 6 días consecutivos cuando TX < percentil 90 (WSDI) en el estado de Jalisco.....	83
Figura 36. Distribución espacial de la tendencia del índice denominado valor mínimo mensual de la temperatura máxima diaria (TXn) en el estado de Jalisco.....	85
Figura 37. Distribución espacial de las tendencias del índice denominado valor mínimo mensual de la temperatura mínima diaria (TNn) en el estado de Jalisco.....	85
Figura 38. Distribución espacial de las tendencias del índice denominado porcentaje de días cuando TN < percentil 10 (Tn10p) en el estado de Jalisco.....	86

Figura 39. Distribución espacial de las tendencias del índice TX10p en el estado de Jalisco.....	86
Figura 40. Regiones económicas del estado de Jalisco.....	87
Figura 41. Comparación de anomalías de temperatura máxima para el periodo 1991-2010: a) estaciones no homogeneizadas, b) estaciones homogeneizadas.....	96
Figura 42. Comparación de anomalías de temperatura media para el periodo 1991-2010: a) estaciones no homogeneizadas, b) estaciones homogeneizadas.....	96
Figura 43. Comparación de anomalías de temperatura mínima para el periodo 1991-2010: a) estaciones no homogeneizadas, b) estaciones homogeneizadas.....	97
Figura 44. Distribución de la temperatura media promedio anual para cuatro períodos de estudio. 1961-1990, 1971-2000, 1981-2010 y 1991-2010.....	98
Figura 45. Comportamiento de la anomalía de temperatura media promedio anual del estado de Jalisco estimada para tres períodos climáticos representativos con respecto al período de referencia 1961-1990.....	99

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Unidades de suelos del estado de Jalisco.....	50
Cuadro 2. Tipos de coberturas del suelo y comunidades vegetales del estado de Jalisco.....	52
Cuadro 3. Superficie de las cuencas hidrográficas del estado de Jalisco.....	54
Cuadro 4. Tipos de climas y superficies en el estado de Jalisco.....	58
Cuadro 5. Estaciones meteorológicas, base del análisis de temperaturas del estado de Jalisco.....	64
Cuadro 6. Resultados de los análisis de coherencia espacial y temporal para las estaciones climatológicas.....	66
Cuadro 7. Ecuaciones de regresión para temperatura máxima en las estaciones meteorológicas seleccionadas, antes y después del proceso de homogenización	67
Cuadro 8. Ecuaciones de regresión para temperatura media en las estaciones meteorológicas seleccionadas antes y después del proceso de homogenización.....	67
Cuadro 9 Ecuaciones de regresión para temperatura mínima en las estaciones meteorológicas seleccionadas antes y después del proceso de homogenización.....	68
Cuadro 10 Promedios anuales y oscilación de temperatura máxima para los períodos climáticamente representativos: 1961 – 1990, 1971 – 2000 y 1981 – 2010.....	69
Cuadro 11. Promedios anuales y oscilación de temperatura media para los períodos climáticamente representativos: 1961 – 1990, 1971 – 2000 y 1981 – 2010.....	72
Cuadro 12. Promedios anuales y oscilación de temperatura mínima para los períodos climáticamente representativos: 1961 – 1990, 1971 – 2000 y 1981 – 2010.....	74
Cuadro 13. Índices de cambio climático del ETCCDI calculados con series no homogeneizados.....	77
Cuadro 14. Tendencias de los índices de cambio climático.....	78
Cuadro 15. Estaciones meteorológicas y sus extremos de temperatura máxima.....	80
Cuadro 16. Estaciones meteorológicas y sus extremos de temperatura mínima.....	84
Cuadro 17. Los diez años más cálidos a nivel mundial registrados durante el periodo 1886-2013.....	92

Cuadro 18. Regiones económicas de Jalisco y la tendencia de los índices de extremos cálidos.....	93
Cuadro 19. Regiones económicas de Jalisco y la tendencia de los índices de extremos fríos.....	94

1. RESUMEN

El Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) publicado en el año 2014, presenta de manera inequívoca que el calentamiento observado desde mediados de del siglo XX a nivel global es de origen antropogénico. Dicho informe confirma que se ha producido un calentamiento inusual tanto de la atmósfera como del océano y cada una de las tres últimas décadas ha sido sucesivamente más caliente que cualquier década anterior desde 1850 (IPCC, 2014).

El calentamiento global y el cambio climático asociado impactarán el clima regional y local en diversas maneras. La identificación de estos cambios, nos muestra la necesidad de desarrollar estrategias de adaptación basados en información climatológica verídica mediante el tratamiento con un estricto control de calidad y homogenización de la información climatológica.

La conjunción de diversas disciplinas y un enfoque holístico en la gestión de riesgos asociados con el clima será exitosa, mientras se de una base cuantitativa al análisis cualitativo y con ello priorizar donde es necesaria la adaptación.

El presente trabajo, estudia la variabilidad y la tendencia del cambio climático en el estado de Jalisco para el periodo 1961-2010, el cual incluye la generación de la base de datos diaria de temperatura máxima y mínima con su control de calidad, en su caso la homogenización de las series y la variabilidad de los eventos extremos de temperatura, representada por los índices de cambio climático de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Entre los resultados obtenidos en este estudio, se observan el aumento de las temperaturas medias en las estaciones seleccionadas, incrementos en el número de eventos extremos, lo cual coincide con el comportamiento estadístico de dicha variable reportada en los reportes de evaluación del IPCC.

Palabras clave:

Adaptación, Cambio Climático, Eventos Extremos, Homogenización, Índices de Cambio Climático, Jalisco.

2. INTRODUCCIÓN

El clima ejerce una enorme influencia en la naturaleza y en nuestras vidas, determina en gran medida la biodiversidad del planeta, la disponibilidad de recursos hídricos, el desarrollo de los cultivos que nos dan alimento y también influye en la cultura y en los medios de vida de cada región del mundo (World Bank, 2010).

En la actualidad, el cambio climático es uno de los problemas que tiene mayores repercusiones en la economía y la calidad de vida de la población mundial. Es preciso definirlo, para poder entender y mitigar los efectos adversos del mismo. De acuerdo a los asesores de la ONU que trabajan en la investigación de cambio climático, el objetivo primordial al día de hoy es no permitir que la temperatura media global anual de la Tierra se incremente más de dos grados centígrados porque este incremento todavía se puede aceptar como un riesgo aceptable y manejable. Es decir, la concentración máxima de dióxido de carbono no debe rebasar 450 ppm a mediados del siglo XXI (OMM, 2005).

Sin embargo, de acuerdo a las investigaciones de Le Quéré *et al.* (2013; 2014), y Tans y Keeling (2013) el dióxido de carbono han incrementado sus niveles desde la época preindustrial de 280 ppm a 400 ppm. La concentración atmosférica de este gas excede por mucho el rango natural de los últimos 650,000 años (180-330 ppm) como se encuentra determinado según estudios en los núcleos de hielo (IPCC, 2007; 2014).

Basándose en estos escenarios de tendencia global de la concentración de dióxido de carbono, fueron construidas proyecciones de temperatura a escala global que indican un incremento de ésta de 1.4 a 5.8 °C para finales del siglo XXI (IPCC, 2007; 2014)

Por lo tanto el cambio climático es un problema a largo plazo que ha estado desarrollándose durante las últimas décadas. A pesar de la incertidumbre sobre la magnitud exacta de los cambios globales en la temperatura y la precipitación, los científicos y tomadores de decisiones por igual ampliamente aceptan que la variabilidad del clima probablemente se desviará significativamente de sus patrones históricos (OMM, 2005).

En nuestro país, un tema muy importante en el que debemos trabajar es la adaptación al cambio climático, ya que sufre de una alta vulnerabilidad en las actividades que desempeñan los diversos niveles socioeconómicos. Los resultados se podrían traducir en efectos sumamente adversos (Vazquez-Aguirre, 2010).

De acuerdo a diversos estudios en varios países en vías de desarrollo, se ha demostrado que cuando se aplican los avances en climatología como herramientas de apoyo en la planificación y toma de decisiones, se pueden obtener beneficios sociales y económicos a partir de la reducción de la vulnerabilidad ante la variabilidad climática (Tarhule y Lamb, 2003; Nicholls y de la Vega-Leinert, 2008).

La capacidad de adaptación a los cambios en el clima, conlleva a suponer que los sistemas socioeconómicos son capaces de enfrentar estos cambios y que las posibilidades de crear estrategias de adaptación son muy factibles. (World Bank, 2010; Chambwera y Heal , 2014).

El tema central de este trabajo se enmarca dentro del proyecto “Estrategia regional para reducir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad de adaptación al cambio climático en la región occidente de México”, cuyo objetivo es disminuir la vulnerabilidad mediante estrategias de adaptación de los sectores hídrico y alimentario. Sin embargo, la problemática de nuestra región Occidente abarca

también a los sectores salud, ambiental y social. Es decir, todos los sectores socioeconómicos que definen la economía de nuestro país.

La falta de estudios a escala regional es un factor limitativo sobre estudios del clima, por lo que este estudio adquiere su importancia al emplear mesoescala α de referencia; la naturaleza corresponde a estudios de variabilidad climática global.

Este estudio tiene como finalidad la detección del cambio climático en el estado de Jalisco durante el periodo comprendido de 1961 a 2010 mediante técnicas estadísticas. Es similar a trabajos realizados en diferentes partes del mundo (Peterson *et al.*, 2008; Kioutsioukis *et al.*, 2010; Ly *et al.*, 2013; Kruger y Sekele, 2013; Wang *et al.* 2013; Xu *et al.*, 2013) siguiendo estándares establecidos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en los cuales se han realizado control de calidad de los datos y homogenización de los mismos. Su valor radica en el tamaño de la escala de trabajo que permitirá obtener datos como los índices de cambio climático, anomalías de temperatura y su representación cartográfica, útiles para realizar estudios de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático.

Se presentaron limitaciones como la calidad de los datos y su densidad, ya que la calidad de las observaciones de las 256 estaciones de la red de CONAGUA es cuestionable y debió ser sometida a un control de calidad exhaustivo (Davydova-Belitskaya, 2013); además se eligieron únicamente 14 estaciones que representan las regiones fisiográficas del estado. Por otra parte, el tiempo fue una limitante importante ya que los resultados presentados en este estudio no son definitivos, puesto que se deben someter a ajustes subsecuentes para alcanzar los procesos de control de calidad y homogenización con el fin de que la cobertura espacial de estaciones meteorológicas en el estado sea confiable.

3. JUSTIFICACIÓN

Los cambios climáticos se han dado de forma natural desde que inició la vida en nuestro planeta, en las últimas décadas las actividades antropogénicas han provocado que el cambio ocurra por causas no naturales (Budyko, 1977) sino a causas de una alta concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) producidos por el desarrollo socio-económico y muy particularmente industrial; (IPCC, 2007; 2013). Esta declaración, se basa en la detección estadística y metodología de atribución que depende en gran medida de la caracterización de la variabilidad del clima interno (Imbers *et al.*, 2014).

El clima cambia a diferentes escalas, tanto en el espacio como en el tiempo. Actualmente se cuenta con evidencia suficiente para afirmar inequívocamente un aumento en décadas recientes en la temperatura global. Sin embargo, el impacto que este tendrá específicamente en cada región es todavía incierto. Asimismo, este cambio del clima regional se ve acelerado de manera más rápida en comparación con el cambio global, debido a la configuración fisiográfica local. De allí la importancia de analizar datos climáticos en escalas con mayor detalle (IPCC, 2007; Vazquez-Aguirre, 2010).

De acuerdo con los estudios de Conde *et al.* (1995), nuestro país es uno de los más vulnerables debido a su localización geográfica. El 15% del territorio mexicano, el 68.2% de su población y el 71% del producto interno bruto (PIB) se encuentran altamente expuestos al riesgo de los embates del cambio climático (Conde *et al.*, 2011). Todo esto puede traducirse en pérdidas económicas millonarias, en las que el sector agrícola sería el mayor afectado. Si se toma en cuenta que se producen cultivos muy importantes como caña de azúcar, frijol, maíz, café, aguacate, trigo, limón, mango, piña y naranja, su afectación podría ser de entre 42 y 57% (Cárdenas y Cárdenas, 2009).

La región occidente de México es una región prioritaria y sumamente importante ya que contribuye con el 22.1% del PIB del país, en términos agropecuarios,

según datos de SAGARPA en 2009. Es un área estratégica para dar seguridad alimentaria al país, siendo una región altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, ya que la producción agrícola es primordialmente de temporal (Davydova-Belitskaya, 2013).

Por otra parte, ya que el estado de Jalisco es considerado como altamente vulnerable al cambio climático debido a la gran variación de los patrones climáticos, particularmente en temperatura y precipitación, es importante determinar prospectivamente el comportamiento de dichas variables, con el fin de adoptar medidas que ayuden a minimizar el potencial impacto de la variabilidad climática (Conde *et. al.*, 1995; Davydova-Belitskaya, 2013).

En el estado de Jalisco, de acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2013), el Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) fue terminado y se encuentra en revisión. Aun así, el PEACC-JALISCO no contempla un estudio de variabilidad climática, por lo que este trabajo es el primero de este tipo para el estado.

Para reducir la vulnerabilidad ante el cambio climático, es preciso diseñar e implementar estrategias de adaptación. Es por ello, que ha sido necesario pasar de una descripción cualitativa a una cuantitativa para priorizar en donde es más necesaria la adaptación (INECC-PNUD, 2013). Se ha demostrado que cuando se aplican avances en climatología como herramientas de apoyo en la planificación y toma de decisiones, se pueden obtener beneficios sociales y económicos a partir de la reducción de la vulnerabilidad ante la variabilidad climática (Vazquez-Aguirre, 2010) Por lo tanto, la gestión de riesgos relacionados con el clima requiere de enfoques transversales entre ciencias naturales y sociales, de manera interdisciplinaria (Mileti, 1999).

El aporte de este trabajo, radica en proveer de información climatológica verídica, es decir con un control de calidad estricto y la homogeneización de las series

originales disponibles en el Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA. Para la realización de estudios posteriores de vulnerabilidad y estrategias de adaptación ante el cambio climático.

Finalmente, el desarrollo de este trabajo de investigación, se encuentra enmarcado dentro del proyecto con fondos FORDECYT, “Estrategia regional para reducir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad de adaptación al cambio climático en la región occidente de México”. Los resultados obtenidos en este trabajo permitieron identificar cambios indiscutibles en los patrones de temperatura en las diversas regiones del estado de Jalisco. Estos cambios difieren considerablemente de las tendencias que se detectan en series de temperatura máxima, mínima y media sin realizar los estrictos tratamientos de calidad de datos y homogeneización de series de tiempo.

4. HIPÓTESIS

La variabilidad de la temperatura de las estaciones del estado de Jalisco tiene el mismo comportamiento estadístico que el de las reportadas para el cambio climático global.

4.1 La generación, obtención y manejo informático de los datos climáticos tienen una calidad tal, que requiere de ser revisados y en su caso corregidos, antes de ser aplicados a su análisis inferencial sobre variabilidad y cambio climático de la región de estudio.

4.2 La estimación de la tendencia de la temperatura media promedio anual con los índices de cambio climático definidos por la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial muestran el mismo comportamiento que el de las reportadas para el cambio climático a escala global.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Describir la variabilidad climática en el estado de Jalisco en el período 1961-2010 con la comparación de las medias de temperatura y cálculo de los índices de cambio climático de la Organización Meteorológica Mundial.

5.2 Objetivos específicos

1. Controlar la calidad de los datos de temperatura para seleccionar las estaciones a utilizar en el presente estudio.
2. Homogenizar de las series de temperatura de las estaciones que cumplieron el control de calidad.
3. Describir y analizar las tendencias de los índices de cambio climático.
4. Estimar la anomalía de la temperatura media entre los periodos 1961-1990, 1971-2000, 1981-2010 y 1991-2010.
5. Interpretar y representar espacialmente el comportamiento de los índices y las anomalías de temperatura

6. ANTECEDENTES

La clave para entender el cambio climático es comprender primero qué es el clima y cómo funciona. Para ello es fundamental reconocer que está regulado por la interacción de seis sistemas principales: 1) la atmósfera, 2) la superficie terrestre o litosfera, 3) los océanos y otros cuerpos de agua líquida (hidrosfera), 4) las áreas terrestres cubiertas de hielo o criosfera, 5) la biosfera y 6) la actividad humana (Budyko, 1977; Montealegre y Pabón, 2000). Ya que el clima es el resultado de factores ambientales que a su vez operan en diferentes escalas es posible hablar de clima global, clima regional y el clima local incluso microclimas. Su caracterización se basa en promedios y/o condiciones predominantes durante un período de tiempo razonablemente largo (Ruiz, 2010).

Sólo si se considera al sistema climático bajo esta visión holística, es posible entender los flujos de materia y energía en la atmósfera y finalmente comprender las causas del cambio global (GCCIP, 1997).

Gracias a diversos estudios, hoy sabemos que cambios en el clima podrían incrementar, periódica y crónicamente, fenómenos como variación en el régimen e intensidad de la precipitación, periodos de sequías más largos, más intensos y más frecuentes, olas de calor más prolongadas e intensas, etc. Es muy importante resaltar que las zonas áridas y semiáridas, con el clima más extremo, pueden presentar los cambios más radicales (Conde, 2003). Los países en desarrollo, incluyendo México, son muy vulnerables al cambio climático debido a que muchos se encuentran en regiones áridas y semiáridas, y la mayoría obtienen sus recursos de agua de sistemas como presas o pozos. Con ello, se altera el régimen hidrológico de las cuencas e incluso, con frecuencia se observa sobreexplotación de los acuíferos utilizados en estas regiones (CONAGUA, 2011).

De acuerdo a los estudios de diversos autores (Hegerl *et al.*, 2007; Stott *et al.*, 2011; Trenberth *et al.*, 2007; Trenberth, 2012; Solomon *et al.*, 2010) el cambio del clima se ha acelerado en décadas recientes, sobre todo en la última década del

siglo XX a causa del efecto invernadero o presencia de los gases que retienen el calor en la atmósfera.

Esta presencia a causa de actividades humanas, particularmente sobreuso de combustibles fósiles y su combustión, alteran la composición química estándar de la atmósfera y, como consecuencia, han inducido modificaciones en el balance energético global (Ruddiman, 2003; IPCC, 2007; 2014).

El impacto antrópico en el planeta es tan significativo que lo hemos alterado como para marcar el comienzo de una nueva época: el Antropoceno, la era del hombre. Es decir, ya no estamos en el Holoceno, que comenzó al final de la última era de hielo, hace unos 12,000 años, y que oficialmente continúa en la actualidad (Crutzen y Steffen, 2003; Kolbert, 2011; Sachs, 2015).

El calentamiento global, las variaciones y tendencias de los eventos extremos han recibido mucha atención en años recientes, ya que estos son más sensibles a los cambios climáticos que los valores medios (Alexander *et al.*, 2006;2007; Tank y Können, 2003; Williams *et al.*, 2010). Estos cambios han incrementado la frecuencia y la intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos. Por lo tanto, podemos hablar de un cambio en la variabilidad climática ante un inminente calentamiento de la temperatura global del planeta.

El Panel Intergubernamental (IPCC, 2007) en su cuarto informe de evaluación, predice extremos de temperatura más cálidos, olas de calor más intensas, eventos de precipitación más fuertes y un decremento en la capa de nieve, la reducción de los hielos oceánicos y aumentos en los niveles del océano como consecuencias potenciales del cambio climático.

Estos cambios en el clima global y los patrones de precipitación suponen retos muy serios a la humanidad ya que tienen impactos serios en la agricultura (Peterson y Manton, 2008; Bencze *et al.*, 2010), economía (Linnenluecke y

Griffiths, 2010), salud humana (Rocklov y Fosberg, 2009), fauna (Welbergen *et al.*, 2008), y en los ecosistemas naturales (Parker *et al.*, 2008; Mantua *et al.*, 2010).

Entre los efectos adversos causados por estos dos elementos climáticos están: estrés térmico de gran intensidad que podría llevar a un aumento en la mortalidad ocasionada por enfermedades específicas por altas temperaturas, la vulnerabilidad de especies vegetales y animales, incremento en eventos hidrológicos extremos (heladas primaverales, tormentas de viento, sequías severas, o una prolongada humedad del suelo con clima caliente, etc.) y en general la alteración del ciclo hidrológico, estos eventos tendrán un profundo impacto en la economía de países en desarrollo, donde la agricultura juega un papel principal (Choi *et al.*, 2009; Radinović y Ćurić, 2012; Wang *et al.*, 2012) como el caso de México.

Debido al creciente interés en la evaluación de las tendencias en los fenómenos meteorológicos extremos como evidencia del cambio climático (Alexander *et al.*, 2006; Nicholls y Alexander, 2007), un sinnúmero de reportes se han publicado en diferentes partes del mundo usando las guías estandarizadas de índices definidos por la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para la evaluación del cambio climático.

Se analizaron cambios globales (Frich *et al.*, 2002; Alexander *et al.*, 2006) en los extremos diarios del clima, concluyendo que ha habido un calentamiento significativo a lo largo del siglo XX, estas diferencias de temperatura se han pronunciado particularmente en períodos más recientes y sobre todo para los índices de temperatura mínima, mientras que los índices de precipitación muestran tendencia a condiciones más húmedas en latitudes medias, cuando latitudes tropicales tienden ser más secos.

Alexander *et al.*, (2006) señalan cambios significativos en los extremos de temperatura asociados al calentamiento desde 1951 a 2003. Más del 70% de la

superficie de la Tierra ha sufrido una reducción significativa en el número de noches frías y un incremento bastante significativo del número de noches cálidas. Observaron tendencias positivas en las temperaturas mínimas y máximas sobre todo el globo, siendo los cambios en la temperatura mínima más significativos.

Klein Tank y Können (2003) obtuvieron resultados para los índices de temperatura y precipitación en Europa durante el período 1946 a 1999, el que se mostró que los días frescos y noches frías se redujeron, mientras que los días calurosos y las noches cálidas se incrementaron de manera significativa.

Brunet *et al.* (2007) realizaron un estudio de largo alcance para el período 1901-2005 para el territorio continental de España, encontrando aumentos en las temperaturas máxima y mínima durante todo el siglo XX. Sin embargo, los cambios en las temperaturas diurnas fueron significativamente mayores que las temperaturas nocturnas. Los cambios en los extremos de precipitación no fueron tan evidentes como en los de temperatura. No obstante, se encontró una tendencia hacia eventos cada vez más fuertes.

En Grecia, Kioutsioukis *et al.* (2010), analizaron cambios estadísticos en los extremos climáticos durante el periodo 1955-2002 a lo largo de todo el territorio y encontraron que la mitad de los índices examinados mostraban tendencias regionales significativos. La mayoría de ellos son funciones únicas de temperatura mínima y de precipitación. Se mostró un incremento en los índices de temperatura máxima y los cambios en la precipitación mostraron una tendencia a un clima más seco, aunque los patrones en ella se atribuyeron más a la escala del trabajo y a las condiciones locales como la influencia del mediterráneo y la topografía.

En el continente Africano, se han realizado estudios similares (Ly *et al.*, 2013) realizaron un estudio en la región occidente del Sahel en África, mostrando un calentamiento general desde el año de 1960. Las tendencias para temperatura muestran un calentamiento significativo de manera uniforme en toda la región,

sobre todo en las estaciones pertenecientes a zonas costeras. Sin embargo, la precipitación muestra una tendencia de decremento y los eventos extremos para este parámetro se dispararon de manera abrupta. Estas observaciones muestran que los comportamientos para precipitación son menos uniformes que para la temperatura, lo que ha desembocado en serias repercusiones en las economías de los países que conforman esa región.

De la misma manera, Kruger y Sekele (2013) encontraron que los extremos de temperatura máxima se incrementaron a su vez que los de temperatura mínima decrecieron en todas las estaciones a lo largo de Sudáfrica durante el periodo 1962-2009.

Se ha llegado a conclusiones similares en estudios realizados en el suroeste de Asia, la región del Pacífico sur, la región Asia-Pacífico, Sudamérica, y Norteamérica. Confirmando la tendencia global al calentamiento.

Wang *et al.* (2013), encontraron cambios muy significativos en los índices de temperatura en la región noroeste de China. La magnitud en los cambios en los extremos de la temperatura mínima fue generalmente más grande que los de la temperatura máxima. Además, los índices de precipitación mostraron más variabilidad, con tendencias menos significativas que las de los índices de temperatura.

En Australia, Alexander *et al.* (2007) analizaron las relaciones entre la media y las tendencias extremas de datos diarios de temperatura y precipitación a lo largo del país y se encontró que las tendencias en los extremos de la temperatura y las precipitaciones están muy correlacionadas con las tendencias medias.

Vincent *et al.* (2005), realizaron un estudio de índices de extremos diarios de temperatura en Sudamérica para el periodo 1960-2000, y sus resultados mostraron que no ha habido cambios consistentes en los índices para temperatura máxima

diaria, mientras que tendencias significativas se encontraron en los índices para temperatura mínima. También encontraron que en muchas de las estaciones analizadas ha habido incrementos de gran magnitud en el número de noches cálidas y un decremento en las noches frías durante la temporada de verano. Lo cual muestra que el calentamiento se registra durante el verano y el otoño. Las estaciones con tendencias significativas fueron las que se encuentran localizadas cerca de las costas del continente.

Peterson *et al.* (2008), mostraron que para la región de Norteamérica (Canadá, Estados Unidos y México) ha habido que los extremos para temperatura mínima se han calentado más rápido que los de temperatura máxima. Se encontró también que eventos de precipitación cada vez más intensos y que el volumen promedio de precipitación se ha incrementado desde la última mitad del siglo pasado.

En nuestro país se han realizado estudios similares como parte de los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC). Sin embargo, se necesita mayor investigación en cada entidad federativa (INECC, 2010)

En el estado de Veracruz, Vazquez-Aguirre *et al.* (2008) mostraron un estudio que existe una evidencia de aumento de la temperatura en años recientes, que coincide con el calentamiento global del planeta; detectaron un aumento en la frecuencia de días calurosos y disminución de los días frescos.

Según el INECC (2013), solamente han concluido sus PEACC las siguientes entidades federativas: Baja California, Baja California Sur, Chiapas, Estado de México, Guanajuato, Puebla, Tabasco, Veracruz y el Distrito Federal. Sin embargo, estados como Jalisco ya se encuentran desarrollando sus PEACC, como se muestra en el mapa de la figura 1.



Figura 1. Desarrollo de los PEACC a nivel nacional. Fuente: (INECC, 2013)

Aun así, el PEACC-JALISCO no contempla el estudio de variabilidad climática, por lo que este trabajo es el primero de este tipo para el estado de Jalisco.

7. MARCO TEÓRICO

7.1 Conceptos y sus definiciones

La climatología (del griego κλίμα, klima, "región, zona"; y -λογία, -logia "estudio") es la rama de la Geografía que se ocupa del estudio del clima y del tiempo. Ha sido un asunto que ha ocupado a la geografía desde sus comienzos; incluso Claudio Ptolomeo, en su libro "Geographia" dedica un tercio de éste a la variación global de los climas (Briggs y Smithson, 1986). Cabe mencionar que a partir de los estudios y desarrollo de la ciencia, actualmente la climatología se enmarca en las ciencias exactas.

Clima atmosférico

Para una mejor comprensión del fenómeno de cambio climático, se requiere un buen entendimiento de los conceptos tales como clima, sistema climático, variabilidad u oscilaciones climáticas, los parámetros o "normales" de temperatura y precipitación, así como sus anomalías.

El clima puede ser definido como una síntesis de las condiciones meteorológicas correspondientes a un área dada, caracterizada por las estadísticas basadas en un período largo de las variables referentes al estado de la atmósfera en dicha área (WMO, 1967).

También la Organización Meteorológica Mundial, en un sentido estricto lo define como el "tiempo promedio", o más rigurosamente, como la descripción estadística en términos de la media y la variabilidad de las cantidades pertinentes durante un período de tiempo que varía de meses a miles o millones de años. El período clásico es de 30 años (normales climatológicas). Estas cantidades son casi siempre variables de superficie, tales como la temperatura, la precipitación y el viento. El clima en un sentido más amplio es el estado, incluyendo una descripción estadística, del sistema climático (WMO, 2011).

Rohli y Vega (2007), lo describen como un estudio científico del comportamiento de la atmósfera integrado en un período largo del tiempo. Es una ciencia holística

que incorpora teorías, ideas y datos desde todas las partes del sistema tierra-océano-atmósfera, incluyendo elementos influenciados por los seres humanos.

El sistema climático es un sistema altamente complejo que consta de cinco componentes principales: la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la superficie terrestre (litosfera) y la biosfera, incluyendo las interacciones entre éstas (ver figura 2)

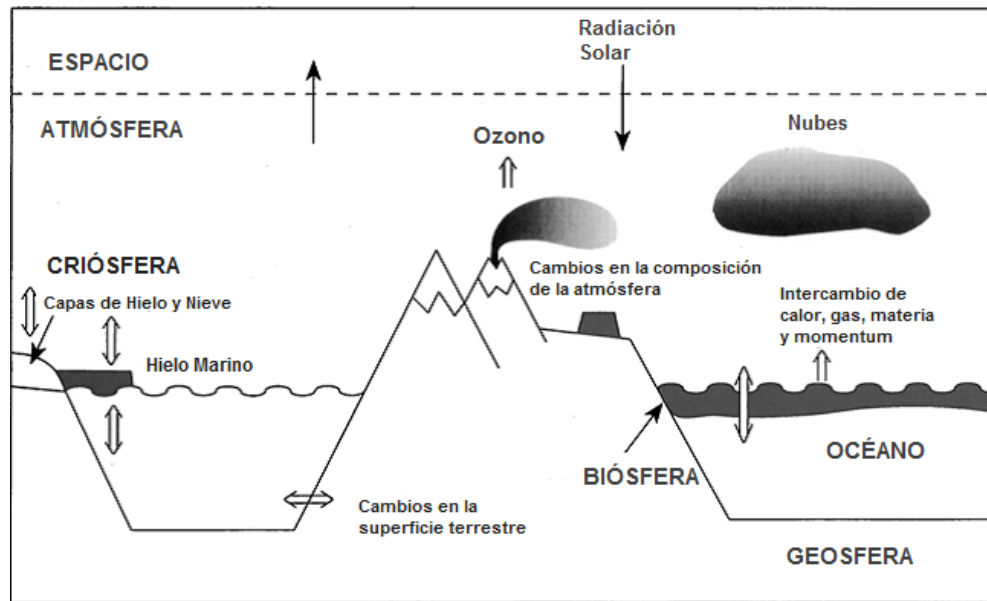


Figura 2. Diagrama esquemático del sistema climático. Fuente: (Bigg, 2003).

El sistema climático evoluciona en el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna y debido a fuerzas externas como las erupciones volcánicas, las variaciones solares y forzamientos inducidos por el hombre, tales como la cambiante composición de la atmósfera y el uso del suelo (Figura 3).

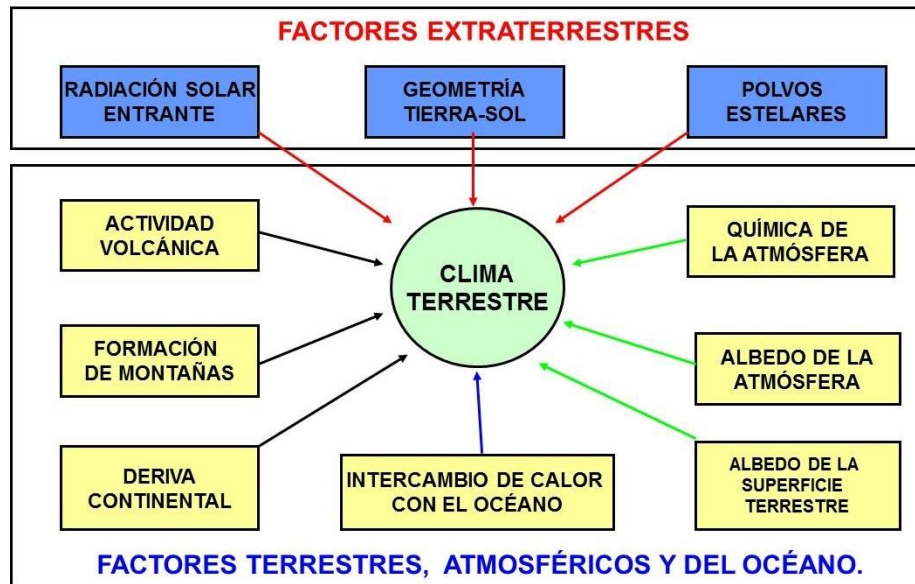


Figura 3. Factores que determinan oscilaciones y cambio climático. Fuente: (Davydova-Belitskaya, 2009).

Los cambios propios del sistema climático del planeta varían a diferentes escalas de tiempo, entre ellas los ciclos estacionales, que se presentan anuales e interanuales, como El Niño/Oscilación del Sur (ENSO); decadales como la Oscilación del Atlántico Norte y la Oscilación Decadal del Pacífico; seculares como los ciclos de manchas solares, y aquellos dominados por varios milenios como los ciclos de Milankovich (Griggs y Noguer, 2002)

Escalas en meteorología y climatología

El concepto de escala utilizado dentro de los campos de la meteorología y climatología, debe ser concebido exclusivamente desde el enfoque de la física atmosférica (Steyn *et al.*, 1981).

Los fenómenos que ocurren en la atmósfera van desde vórtices de turbulencia hasta estructuras de magnitud planetaria y casi permanente con una longitud horizontal casi comparable con el radio de la Tierra (Kurgansky, 2002). Estos fenómenos son continuos tanto en el tiempo como en el espacio.

Hoy en día, existen varias clasificaciones que describen los fenómenos atmosféricos con respecto a los limitantes de una escala (figura 4). No obstante, la publicada por (Orlanski, 1975) es la más ampliamente aceptada. Esta división sugiere que la distancia horizontal característica se divide en la escala macro (continental), incluyendo los fenómenos con mayor extensión horizontal de 2.000 km; la micro escala (local), incluye menores a 2 km; y la mesoescala, que incluye todos los fenómenos atmosféricos con longitudes entre la macroescala y la microescala.

Esta triple división del espacio-escala comprende a su vez una subdivisión gradual en orden alfabético que denota la disminución de su tamaño. En este contexto, la macroescala comprende a escala macro- α (planetaria), con longitudes superiores a 10,000 km, y la escala macro- β (sinóptica), que describe espacios comprendidos entre 2, 000 y 10,000 km. La mesoescala se subdivide también en α (2000-200 km), β (200-20 km) y γ (20-2 km). En cuanto a la microescala se tienen las subdivisiones: α (2 km-200 m), β (200-20 m) y γ (<20 m).

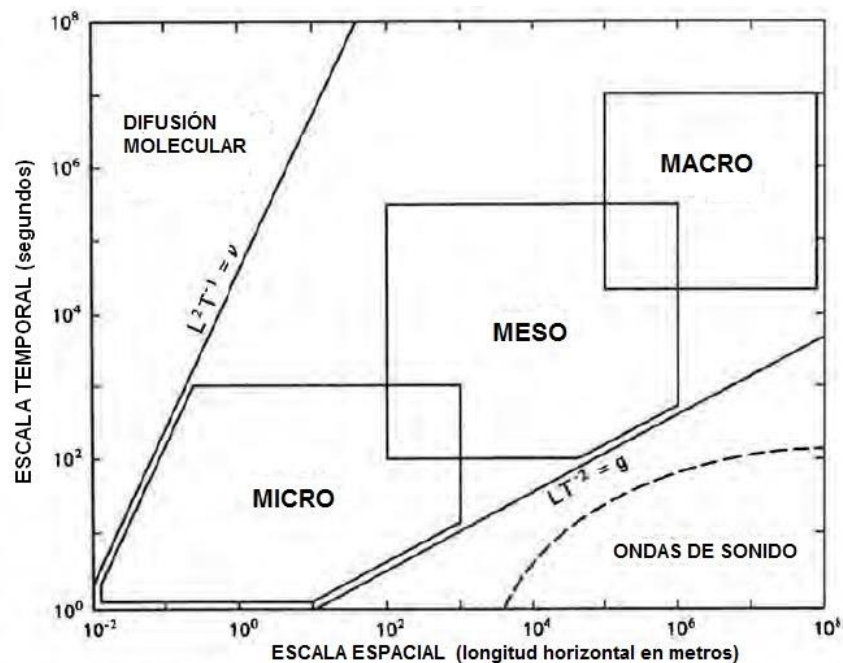


Figura 4. Representación espacio-temporal de la escala de Orlanski. Fuente: (Steyn *et al.*, 1981)

Variabilidad climática

La variabilidad climática en sentido general designa la característica intrínseca del clima que se manifiesta por cambios del clima con el tiempo (WMO, 2011). El grado de variabilidad climática puede describirse por las diferencias entre estadísticas a largo plazo de elementos meteorológicos calculados para diferentes períodos. También el término se utiliza a menudo para indicar desviaciones de las estadísticas climáticas a lo largo de un período de tiempo dado (por ejemplo, un mes, estación, o año determinados) respecto a estadísticas climáticas a largo plazo relacionadas con el mismo período del calendario. En este sentido, la variabilidad climática se mide por estas desviaciones, denominadas habitualmente anomalías (OMM, 1992). La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones en el exterior natural o antropogénico (variabilidad externa).

De acuerdo a estudios de modelación climática realizados por el Grupo de Trabajo I (WGI) y publicados en el Tercer Reporte del IPCC (Griggs y Noguer, 2002) brindan que la respuesta del equilibrio de la temperatura media global sobre forzamientos radiativos (insolación) es aproximadamente la misma (dentro de 25%) para mayor cantidad de conductores de cambio climático. Este resultado fue obtenido a nivel de confianza media.

El Forzamiento Radiativo (RF) es un concepto usado para cuantificar la comparación de la fuerza de diferentes agentes antropogénicos y naturales que inducen el cambio climático. Se define RF como “el cambio en la cantidad neta de radiación (solar plus de onda larga; en Wm^{-2}) sobre la tropopausa después de permitir un reajuste de equilibrio radiativo por variaciones en temperaturas estratosféricas, en la superficie y troposfera sobre valores fijos o preestablecidos de radiación” (Ramaswamy *et al.*, 2001). El forzamiento radiativo se utiliza para entender y evaluar factores tanto antropogénicos como naturales conductores de cambio climático.

Fenómenos meteorológicos extremos

Fenómeno meteorológico poco común o raro en términos de su distribución estadística de referencia para un lugar determinado. Aunque las definiciones de 'raro' son diversas, la rareza de un fenómeno meteorológico extremo sería normalmente igual o superior a la de los percentiles 10 ó 90. Por definición, las características de un estado del tiempo extremo pueden variar en función del lugar (IPCC, 2007).



Figura 5. Función de distribución de la probabilidad de temperatura diaria. Fuente: (Folland *et al.*, 1995)

Como se aprecia en la figura 5, cuanto más pronunciada sea la curva de distribución, más probable es la ocurrencia del clima con esas características. Los extremos se encuentran definidos por las áreas coloreadas en azul para extremos fríos (izquierda) y rojo para cálidos (derecha).

Definición de cambio climático

El cambio climático definido por la OMM (Houghton, 2002) es un cambio significativo en el clima atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas, que en suma con la variabilidad natural del clima, se observa en

periodos de tiempo comparables. Sin embargo, la definición adoptada por el Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC) se enfoca solamente en la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y excluye otras actividades como el cambio el uso de suelo. Es importante destacar, que el término “cambio climático” a veces se utiliza para incluir la variabilidad climática, lo que acarrea una terrible confusión. El clima posee variabilidad en todas las escalas de tiempo y espacio y siempre estará cambiando (UNFCCC, 2012).

El calentamiento global es inequívoco, no hay duda de que un cambio en el clima por causa de los humanos está sucediendo (IPCC, 2007); en consecuencia, todas las sociedades necesitan aprender a hacer frente a los cambios pronosticados (Griggs y Noguer, 2002; IPCC, 2007;2014). Esto conlleva a la necesidad de realizar más investigación de origen multidisciplinario en este campo, que requiere de la compaginación de especialistas en ciencias naturales, sociales y analistas políticos que ayuden a complementar los resultados a escala global arrojados por los especialistas del IPCC (Adger *et al.*, 2003).

Vulnerabilidad ante el cambio climático.

Los conceptos de vulnerabilidad, riesgo, adaptación, capacidad de adaptación, y exposición se encuentran interrelacionados y tienen una gran aplicación en la ciencia del cambio climático. Las aplicaciones de los mismos, también pueden variar según los fenómenos de interés (biológicos, económicos, sociales, etc.) y por una escala de tiempo (inmediata, meses, años, décadas, siglos, etc.) (Smit y Wandel, 2006).

Para hablar de vulnerabilidad ante cambio climático, es necesario recurrir obligatoriamente a la definición de riesgo. Para Brooks (2003) son probabilísticos en la naturaleza, ya sea en relación a 1) la probabilidad de ocurrencia de un peligro que actúa para desencadenar un desastre o serie de eventos con un resultado indeseable, o 2) la probabilidad de un desastre o de resultado, la

combinación de la probabilidad de que el evento de amenaza con una consideración de sus posibles consecuencias.

De acuerdo a la UNESCO (UNDHA, 1992), es la posibilidad que las consecuencias económicas y sociales de un fenómeno de peligro superen un determinado umbral. Esto puede ser explicado mediante una ecuación que sirve para evaluar la vulnerabilidad:

$$R = P * V * E$$

Dónde: R.- Significa riesgo; P.- – peligro; V.- vulnerabilidad y E.- Número de elementos afectados.

El peligro (*P*) se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo de tiempo y en un sitio dado. Para el estudio de los peligros, es importante definir los fenómenos perturbadores mediante parámetros cuantitativos con un significado físico preciso que pueda medirse numéricamente y ser asociado mediante relaciones físicas con los efectos del fenómeno sobre los bienes expuestos. En la mayoría de los fenómenos pueden distinguirse dos medidas, una de magnitud y otra de intensidad.

La vulnerabilidad (*V*) es una medida de que tan propensa es un área para tener daños debidos a fenómenos naturales o antropogénicos. La vulnerabilidad es un término antropocéntrico. Depende del nivel en que puede, o no puede, enfrentarse o defenderse la población afectada por una contingencia o bien la infraestructura en la que habita.

El número de elementos afectados (*E*), es sinónimo de la exposición o grado de exposición. Se refiere a la cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio y que son factibles de ser dañados. Por lo general se le asignan unidades monetarias puesto que es común que así se exprese el valor de los daños, aunque no siempre es traducible a dinero. En ocasiones pueden

emplearse valores como porcentajes de determinados tipos de construcción o inclusive el número de personas que son susceptibles a verse afectadas.

Retomando el concepto de vulnerabilidad, podemos hablar de vulnerabilidad ante el cambio climático. De acuerdo al glosario del Tercer Reporte de Evaluación (TAR) del IPCC, publicado en 2001, es el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos ante el cambio climático, y en particular la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, así como de su sensibilidad y capacidad adaptativa (IPCC, 2001).

Según Adger (2006), la vulnerabilidad es el estado de la susceptibilidad a los daños provocados por la exposición al estrés asociado con el cambio ambiental y social, y de la falta de capacidad de adaptación. El concepto de un sistema socio-ecológico refleja la idea de que la actividad humana y las estructuras sociales son integrales a la naturaleza y no pueden ser desligadas. Esta definición, se adecua más al campo de estudio de las ciencias biológicas, y encaja de una manera óptima en la conjunción de las mismas con las ciencias sociales que son en las que los tomadores de decisiones están enmarcados.

Continuando con lo anterior, podemos hablar del concepto de vulnerabilidad social que se centra explícitamente en factores demográficos y socioeconómicos que aumentan o atenúan los impactos de los eventos de riesgo en las poblaciones (Tierney *et al.*, 2001). Estos concepto se resumen en pobreza, inequidad, salud, acceso a recursos y al estatus social (Brooks, 2003).

El término adaptación, como se usa en la actualidad en el campo del cambio climático, tiene sus orígenes en las ciencias naturales, particularmente en la biología evolutiva (Futuyma, 1998; Kitano, 2002). Desde un punto de vista darwiniano, podemos conceptualizarla como, un grupo que no tiene métodos adecuados de hacer frente al estrés ambiental e incapaz de competir por los escasos recursos y prevalecer (O'Brien y Holland, 1992).

La consideración de la adaptación dentro de las ciencias naturales abarca escalas del organismo o individuo a la población de una sola especie, un ecosistema entero o en conjunto la biósfera (Krimbas, 2004).

Según el IPCC (2001) y Lindner *et al.* (2010). Se refiere a los ajustes en sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o los efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos benéficos.

Pielke (1998), se refiere a los ajustes en grupos sociales individuales, y el comportamiento institucional con el fin de reducir la vulnerabilidad de la sociedad ante el clima. Acorde con lo descrito por Smit *et al.* (2000), podemos definirla como ajustes en los sistemas ecológicos, socio-económicos en respuesta a los estímulos climáticos reales o previstos, sus efectos o impactos.

La capacidad de adaptación se define como la capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluida variabilidad del clima y sus extremos), para moderar los daños potenciales, aprovechar las oportunidades, o para hacer frente a las consecuencias (IPCC, 2001). Se debe resaltar que la adaptación no se produce instantáneamente, la relación entre la capacidad de adaptación y la vulnerabilidad depende de manera crucial de las escalas de tiempo y los peligros con que nos preocupan (Brooks *et al.*, 2005; Smit y Wandel, 2006).

Se puede concluir que para reducir la vulnerabilidad, es preciso diseñar e implementar estrategias de adaptación al cambio climático. Por ello, hablar de adaptación requiere entender y evaluar la vulnerabilidad a anomalías climáticas. La vulnerabilidad hace referencia al contexto físico, social, económico y ambiental de una región, sector o grupo social susceptible de ser afectado por un fenómeno meteorológico o climático, y que resulta clave para entender el origen de los desastres. Es por ello, que es necesario pasar de la descripción cualitativa a una cuantitativa para priorizar en donde es más necesaria la adaptación (INECC-PNUD, 2013).

7.2 Impactos del cambio climático

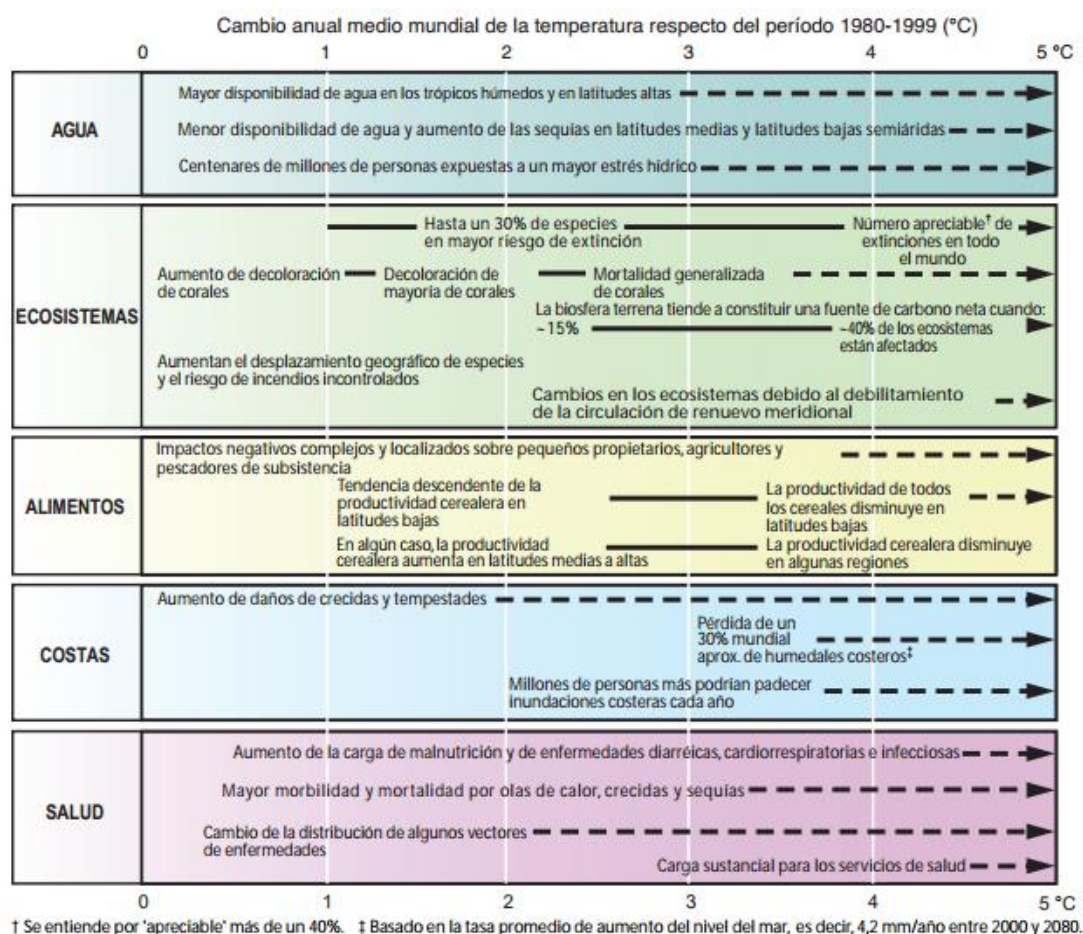


Figura 6. Principales impactos del cambio climático. Fuente: (IPCC, 2007)

Medio físico y biodiversidad

La gran biodiversidad de nuestro país, se debe a que presenta condiciones heterogéneas en su medio físico, como su privilegiada posición geográfica, la variedad de climas y su compleja topografía, han propiciado la existencia de una gran cantidad de ecosistemas y especies, con una amplia variabilidad genética (Sarukhán *et al.*, 2009).

Por otra parte, los ecosistemas juegan un papel de gran importancia en los procesos biogeoquímicos que subyacen bajo el funcionamiento del sistema terrestre, en consecuencia nos proporcionan muchos bienes y servicios que son

esenciales para la supervivencia humana (Myers, 1996; Alexander *et al.*, 1997; WHO, 2005).

Estos servicios son bienes tangibles, recursos finitos aunque renovables, que benefician al entorno en el que se desarrolla la población humana, tales como el control de inundaciones y la resistencia a los ciclones e incendios, que fungen como regulación); los culturales, como la belleza escénica de un cuerpo de agua, arroyos, cascadas y humedales; y de soporte como son los procesos hidrológicos, retención y almacenamiento de nutrientes en el suelo, regulación de poblaciones de plantas, animales, hongos y otros, y mantenimiento de una concentración de gases favorable en la atmósfera (Maass y Martínez-Yrizar, 1990; Swart, 2003).

Los cambios climáticos han sido una constante en el curso de la historia terrestre, paralelamente a los mismos ha tenido lugar la evolución de las estirpes y los diversos acoplamientos que han conducido a la biota actual y a su particular distribución (Pearson y Dawson, 2003). La velocidad e intensidad de los cambios climáticos acaecidos ha determinado en muchas ocasiones la extinción de estirpes no adaptativas o con capacidades migratorias limitadas (Thomas *et al.*, 2003).

La evidencia de que el cambio climático de origen humano está afectando a los sistemas biológicos y los sistemas del medio físico es irrefutable (Griggs y Noguer, 2002). La pérdida de biodiversidad se verá incrementada y con ello la disminución en muchos de los servicios del ecosistema, lo cual repercutirá en los sistemas productivos y en la salud humana. Además de que la alteración del ciclo hidrológico provocará regímenes de precipitación cada vez más variables alterando la disponibilidad de agua (Allen e Ingram, 2002).

Se prevé una reducción del contenido de carbono orgánico de los suelos, como consecuencia de una mineralización más rápida por la elevación de la temperatura y de una mayor incidencia de los incendios, un aumento de la erosión, de la salinización y de los procesos de desertificación (Le Houérou, 1996; Dow y

Downing, 2011).

La expansión térmica de los océanos y la fusión de los hielos provocará un ascenso del nivel del mar que afectará a la franja costera y a todos los procesos geomorfológicos y sistemas biológicos asociados (Wigley y Raper, 1987; Lombard *et al.*, 2005).

La alteración de los ecosistemas terrestres y marinos, a causa de alteraciones en sus ciclos internos, como el cambio el cambio de uso de suelo y la consecuente modificación y/o fragmentación de los hábitats continentales y las concentraciones de dióxido de carbono que alteran la circulación termohalina y provoca la acidificación del océano (Lovejoy, 2006; Donney *et al.*, 2008; 2012). Todos estos cambios afectarán en gran medida directamente e indistintamente en diferentes escalas, ya sea especies, poblaciones e incluso ecosistemas.

Los cambios en los regímenes de precipitación y umbrales de temperatura afectarán el acoplamiento del ciclo fenológico de los organismos, situación que provocará cambios que tiene que ver con los procesos reproductivos y periodos migratorios alterando la cadena trófica y consecuentemente la distribución de las especies, modificaciones en las interacciones entre la especies como relaciones de competencia, asincronías, plagas e invasiones, suponen una fuente potencial de impactos (Parmesan, 2006).

Los escenarios futuros exceden la habilidad de muchas especies de adaptarse, ya sea mediante la migración, cambios de comportamiento o modificaciones genéticas ya que buena parte de la biota vea superados sus límites de capacidad fenotípica, lo que puede resultar en la reducción de poblaciones, disminución en la diversidad e incluso la extinción de un número significativo de especies que resulten más sensibles los cambios (Cramer *et al.*, 2001).

Agricultura y seguridad alimentaria

Los eventos meteorológicos extremos pueden tener graves efectos perjudiciales sobre el rendimiento de los cultivos, y por lo tanto, la producción de alimentos (Rosenzweig *et al.*, 2001). Su ocurrencia causará un profundo impacto y estragos graves en la economía de muchos países en desarrollo donde la agricultura juega un papel principal, como es el caso de nuestro país (Choi, *et al.*, 2009; Chambwera y Heal, 2014).

En latitudes medias y altas, un calentamiento moderado beneficiaría los campos agrícolas y de pastoreo; sin embargo, en regiones secas y de latitudes bajas, aun pequeños aumentos en la temperatura disminuirían las cosechas estacionales. Así mismo, se proyecta el aumento en el comercio de alimentos, con una mayor dependencia de alimentos importados en la mayoría de los países en vías de desarrollo (Easterling *et al.*, 2007).

El rendimiento depende directamente de los efectos de las variaciones de los patrones de temperatura y precipitación e indirectamente de procesos en los suelos, dinámica de nutrientes, y organismos plaga (Brown y Rosenberg, 1997). Los efectos de la precipitación son determinantes, ya que son la fuente primaria de humedad del suelo, y probablemente el factor más importante que influye la productividad, y por lo tanto el rendimiento y calidad de los cultivos (Gourdji *et al.*, 2013).

En situaciones de sequía, las estomas de las plantas se cierran, lo que reduce la transpiración y, en consecuencia, eleva la temperatura corporal de las plantas. Además, procesos como la floración, polinización, y el llenado de grano de la mayoría de los cultivos se verá seriamente afectado por el estrés hidrotérmico (Pearson y Dawson, 2003; Thuiller *et al.*, 2005).

En contraste, condiciones excesivamente húmedas pueden causar disminuciones del rendimiento o la pérdida de los cultivos debido al aumento de las infestaciones

por plagas y la saturación del suelo debido a la acumulación de agua (Rosenzweig *et al.*, 2002). Asimismo, episodios de precipitación intensa, heladas y granizo pueden dañar las plantas jóvenes, golpear los frutos y/o provocar su caída y su posterior pérdida por putrefacción, lo que influye directamente en el rendimiento y calidad de los cultivos (Rosenzweig *et al.*, 2001).

Salud humana

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud el calentamiento global puede traer algunos beneficios localizados, como un menor número de muertes en invierno en climas fríos templados y el aumento de la producción de alimentos en algunas zonas. Sin embargo, los efectos globales de la salud del cambio climático es probable que sean abrumadoramente negativos. El cambio climático afectará a los determinantes sociales y ambientales de la salud - aire, agua potable, alimentos y vivienda (WHO, 2008).

Las temperaturas elevadas extremas contribuyen al aumento de los niveles de ozono, y otros contaminantes en el aire que exacerban las enfermedades cardiovasculares y respiratorias y consecuentemente la muerte de niños y ancianos. Además, el aumento de polen y otros alérgenos aéreos, se ve incrementado, desencadenando más casos de asma (Martens, 1998).

El aumento del nivel del mar y los fenómenos meteorológicos cada vez más extremos destruirán hogares, centros médicos y otros servicios esenciales. Más de la mitad de la población mundial vive a 60 km del mar (McGranahan *et al.*, 2007; WHO, 2008). Lo cual puede obligarlos a desplazarse, lo que a su vez aumenta el riesgo de una amplia gama de efectos sobre la salud, de los trastornos mentales a las enfermedades transmisibles (WHO, 2008).

Los patrones de precipitaciones cada vez más variables pueden afectar el suministro de agua potable, lo cual puede poner en peligro la higiene y aumentar

el riesgo de enfermedades diarreicas por deshidratación (Hunter, 2003). En casos extremos, la escasez de agua conduce a la sequía y la hambruna, lo aumentará la prevalencia de la malnutrición y la desnutrición (Barnett y Adger, 2007).

Los cambios climáticos probablemente prolonguen las estaciones de transmisión de las enfermedades importantes transmitidas por vectores y alteren su distribución geográfica (Harvell *et al.*, 2002).

Las inundaciones también están aumentando en frecuencia e intensidad, estas contaminan los suministros de agua dulce y aumentan el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua (Kundzewicz *et al.*, 2008). Asimismo, se incrementarán las muertes por ahogamientos, las lesiones físicas, la destrucción de viviendas y la interrupción del suministro de servicios médicos y de salud (WHO, 2008).

8. METODOLOGÍA

La metodología se aplica para un estudio complejo tipo: observacional retrospectivo, longitudinal y comparativo. La variable independiente que se contempla es el periodo que cubre el estudio de 1961 a 2010. Como variables dependientes se contemplan la temperatura máxima, mínima y media diarias, en cada estación localizada en el territorio del estado de Jalisco, así como sus estimaciones para períodos climáticos representativos: 1961-1990. 1971-2000 y 1981-2010.

8.1 Datos

Para realizar el estudio de variabilidad y detectar posibles señales de cambio climático se utilizó la información de las 256 estaciones climatológicas del estado de Jalisco, administradas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) como lo muestra la figura 7. Estas cuentan con un registro diario de las variables de temperaturas máxima y temperatura mínima.

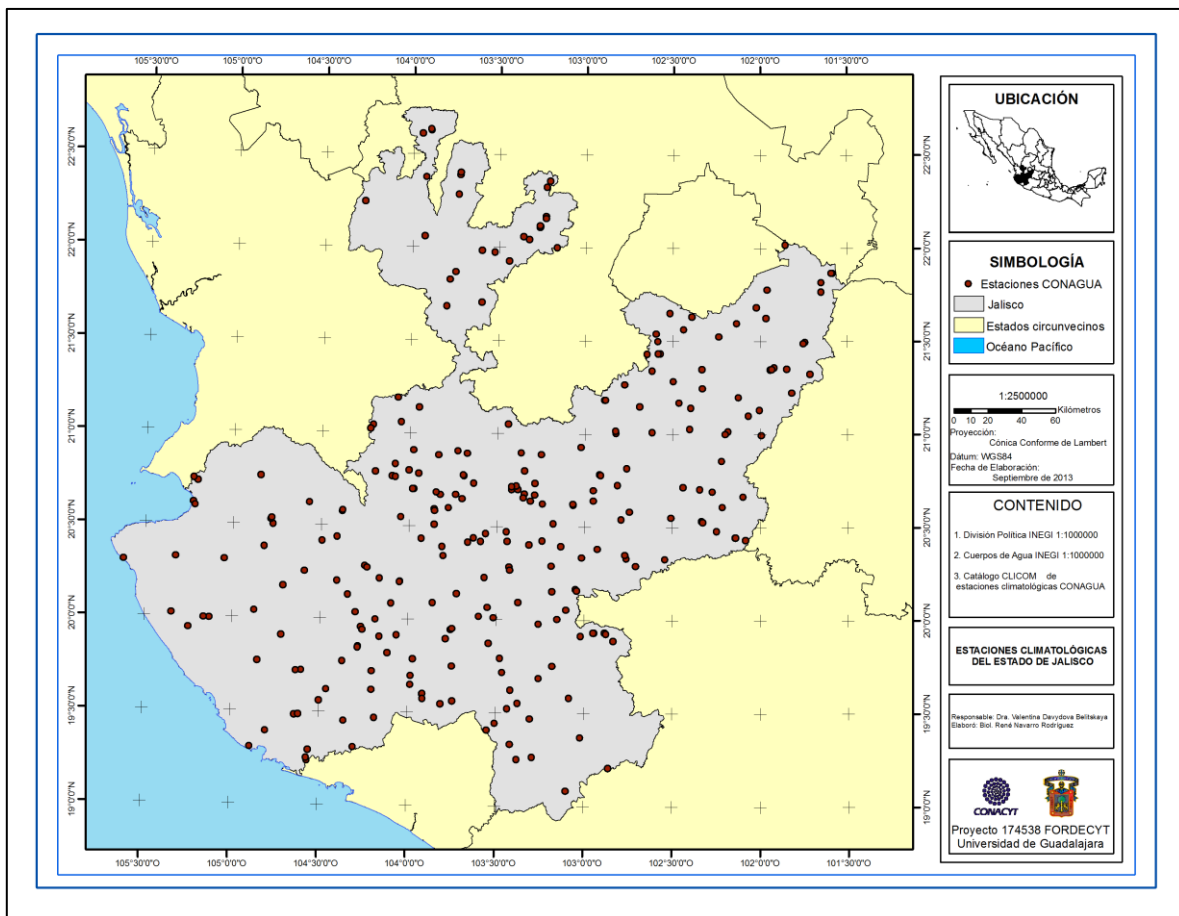


Figura 7. Estaciones climatológicas del estado de Jalisco. Fuente: (Davydova-Belitskaya, 2013).

Con el fin de desarrollar el cálculo de los índices de cambio climático las estaciones analizadas deben cumplir con los siguientes criterios de selección:

1. Las estaciones seleccionadas deben cubrir espacialmente la mayoría del territorio en el cual se llevará a cabo el estudio.
2. Su distribución espacial debe ser uniforme para evitar sesgos en los cálculos.
3. Las estaciones deben tener un 80% o más de registros diarios observados.
4. Las series largas de cada estación deben pasar el proceso de estricto control de calidad de datos.

Estas características deben verificarse en cada una de las variables necesarias para calcular los índices, ya que el número de datos disponibles puede cambiar de una variable a otra. La densidad de los datos (DD) se determinó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$DD = \frac{M}{N} \times 100$$

Dónde:

DD- densidad de datos.

M- número real de observaciones.

N- número nominal de observaciones.

Esta información se integró en archivos de hoja de cálculo y fue revisada con el objetivo de identificar las estaciones que cumplieran con los criterios arriba mencionados y para obtener al menos tres períodos climatológicos representativos de 30 años cada uno (1961-1990, 1971-2000 y 1981-2010), de acuerdo a las normas de la Organización Meteorológica Mundial.

8.2 Control de Calidad

Los procesos de control de calidad se aplican para detectar e identificar los errores que ocurren durante la adquisición, manipulación, formato, transmisión y archivado de los datos (Aguilar *et al.*, 2003). El análisis de la calidad de los datos es sumamente importante para el cálculo de los índices de cambio climático ya que cualquier dato erróneo puede tener impactos en las tendencias de las variaciones de temperatura y precipitación.

Para analizar la calidad de datos climatológicos, así como para calcular los índices de cambio climático, en este trabajo se aplicó el programa RClimDex desarrollado en lenguaje R. Es un programa basado en Microsoft Excel que proporciona un

paquete computacional fácil de usar para el cálculo de Índices de extremos climáticos para monitorear y detectar cambio climático. Fue desarrollado por Byron Gleason del National Climate Data Centre (NCDC) de NOAA, y ha sido usado en talleres CCI/CLIVAR sobre índices climáticos desde el 2001 (Zhang y Yang, 2004).

Se escogió la versión desarrollada por Aguilar *et al.* (2011) denominadas “Extra-QC”. La cual somete las series de datos a pruebas estadísticas, que permiten detectar problemas de continuidad y homogeneidad que estas puedan presentar.

Se eligió un umbral de cuatro desviaciones estándar al momento de correr el programa, esto con la finalidad de no perder registros para eventos extremos y atípicos. El programa arroja valores como erróneos o sospechosos los cuales pueden ser atribuidos a errores de digitación de los datos, cambios de personal que realiza las mediciones, reubicaciones de la estación o eventos extremos. Estos errores se pueden clasificar como:

1. Valores negativos para precipitación.
2. Temperatura máxima diaria observada menor que temperatura mínima diaria observada.
3. Magnitudes dudosas para precipitación (probables eventos extremos).
4. Magnitudes dudosas para temperatura (probables eventos extremos o captura errónea).
5. Control de fechas duplicadas.
6. Evaluación de problemas de redondeo.
7. Valores fuera de rango, basados en límites fijos.
8. Valores atípicos de excedencia, con base en el rango intercuartílico (IQR).
9. Diferencias interdiarias basadas en un umbral fijo valores.
10. Coherencia entre las temperaturas máximas y mínimas ($T_{max} > T_{min}$).
11. Control de valores consecutivos.

El software realiza un control de calidad interno, que consiste en reemplazar los datos faltantes (que son codificados como -99.9) en un formato interno que es

reconocido por lenguaje de programación R. Además, se generan cuadros y gráficos en los que se permite identificar los valores poco razonables⁰ que posteriormente deben ser verificados con el documento original de registros (archivos y sus metadatos), y en su caso corregirlos mediante un análisis de datos en las estaciones vecinas manualmente.

Para esto se proceden a realizar pruebas de coherencia temporal y espacial (Vincent *et al.*, 2002,2005,2012 ; Wang *et al.* 2013; Xu *et al.*, 2013) La coherencia temporal consiste en verificar si la variabilidad observada de una observación a la siguiente se encuentra dentro de un límite característico para la estación, es decir si hubo un evento extremo o si la información es poco justificada. El análisis de coherencia espacial se realizó con el objeto de verificar si el comportamiento de las observaciones era consistente con las reportadas al mismo tiempo por otras estaciones en condiciones similares en un vecindario espacial dado. Para realizar estos análisis es preciso utilizar un sistema de información geográfica, en este caso se utilizó el sistema de ESRI ArcGIS en su versión 10.1.

8.3 Análisis de coherencia temporal y espacial

Para comprender el comportamiento espacial de la temperatura, se aplicó el sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS versión 10.1. Este software se utilizó para realizar operaciones de creación y edición de datos geográficos, operaciones de geoprocetamiento y la representación cartográfica realizada a lo largo de este trabajo. Datos empleados:

- Capa vectorial con estaciones climatológicas (SMN, 2012)
- Capa con el polígono del estado de Jalisco (INEGI, 2014).
- Capa ráster el modelo digital de elevación del estado de Jalisco con una resolución de 15 metros (INEGI, 2013).

El análisis consiste en realizar un estudio de vecindad para asignarle a cada una de las estaciones seleccionadas sus estaciones más próximas dentro de varios radios de búsqueda, con la finalidad de comparar los datos sospechosos arrojados por RClimDex y corroborar si los registros de temperatura son similares entre sí.

Para este fin, se utilizó la herramienta *Point Distance* cual crea una matriz de distancias entre dos conjuntos de puntos dentro de un radio de búsqueda predeterminado (en este caso se utilizó un radio de 50 km para cada estación), en la cual se generan las distancias de todas las entidades de entrada a todas las entidades cercanas. Como resultado se obtiene una tabla que se unió mediante la función *Join* con la con los atributos de la capa de estaciones de CONAGUA (SMN, 2012) y se exportó a una hoja de cálculo.

Se procedió entonces a realizar el análisis comparativo de temperatura de las estaciones tomando en cuenta que éstas cumplieran con un patrón similar de altitud usando el Modelo Digital de Elevación (INEGI, 2013) y que estuvieran en una distancia entre sí relativamente corta, es decir de máximo 50 kilómetros. Esto con el objetivo de asegurar que las condiciones en que se realizó la comparación de los datos sean lo más similares entre sí y que los datos sean atribuidos solamente a variaciones de procesos climáticos locales.

En cuanto a la coherencia temporal, se realizó una inspección visual de las gráficas de temperatura, mediante un análisis lógico, histórico, meteorológico y climatológico para determinar si el valor sospechoso es un dato aberrante o un extremo factible de haber ocurrido.

8.4 Desarrollo de archivos de metadatos

Los metadatos son importantes en el proceso de control de calidad de las series climáticas y también en la evaluación de la homogeneidad de las series de tiempo. Si se cuenta con suficientes metadatos es más fácil determinar si una discontinuidad puede deberse a factores ajenos a la variabilidad climática natural, los cuales ya se mencionaron con anterioridad (Aguilar, *et al.*, 2003).

Para la revisión de los metadatos, se realizaron dos visitas al Archivo Climatológico del Servicio Meteorológico Nacional en la Ciudad de México, que es donde se tienen los archivos originales de la base climatológica del país; y se utilizó la información sobre el geoposicionamiento de las estaciones generadas por Davydova-Belitskaya (2013) como se muestra en la figura 8.

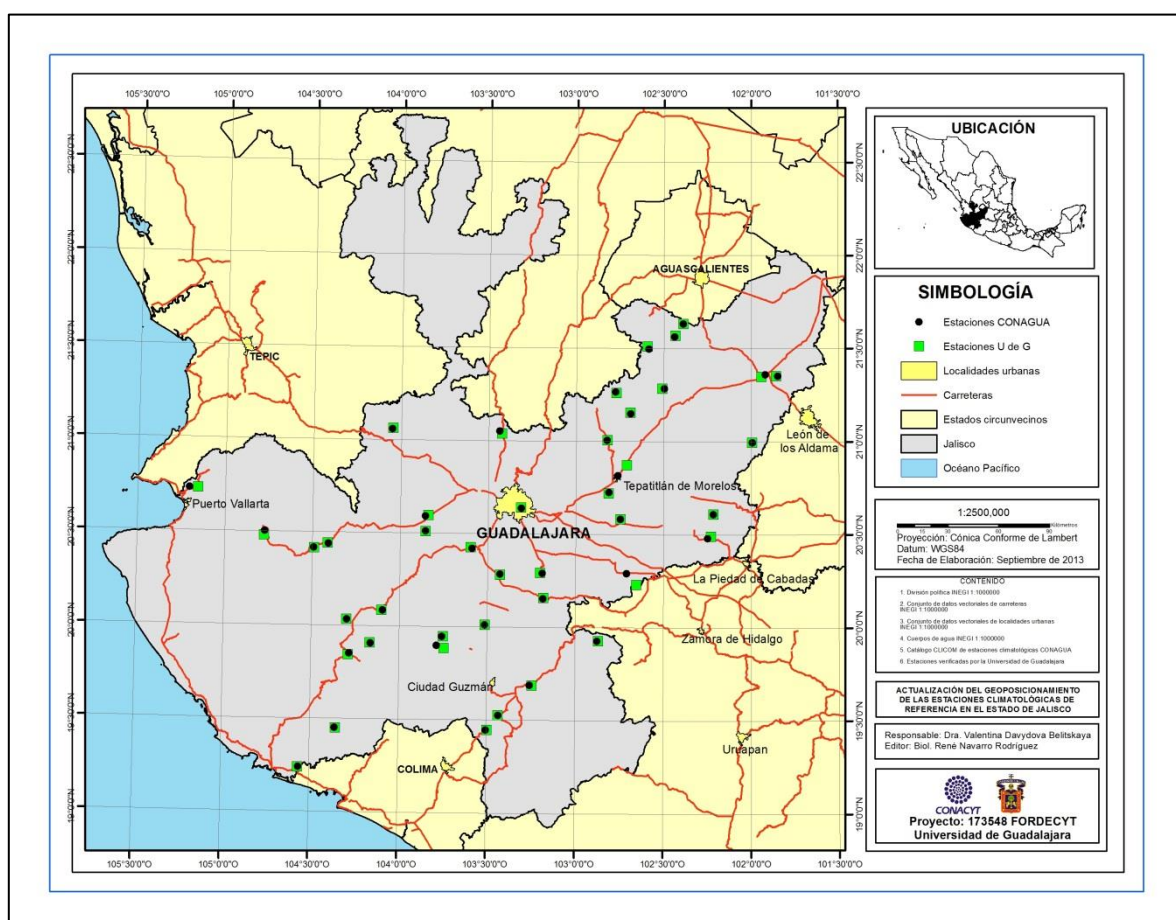


Figura 8. Geoposicionamiento de las estaciones climatológicas del estado para el proceso de control de calidad. Fuente: (Davydova-Belitskaya, 2013).

Se revisaron minuciosamente los registros para cada una de las estaciones seleccionadas del estado de Jalisco. Los parámetros revisados fueron los siguientes:

1. Revisión de cada uno de los datos de temperatura y precipitación registrados diariamente para posteriormente compararlos con la base de datos electrónica y ver si eran similares.
2. Corrección de los datos de temperatura y precipitación tomando en cuenta las observaciones en fechas adyacentes o documento original con registros de éstas.
3. Cambios de ubicación geográfica de la estación analizada.
4. Cambios de los observadores o equipos de medición en la estación en proceso.
5. Registro de eventos extremos o anomalías registradas por los observadores y documentados en comentarios de la estación climatológica.

Los datos se recabaron en una hoja de cálculo. Se creó una base de datos con las observaciones de cada una de las estaciones para su posterior revisión en el proceso de homogenización.

Una vez realizado el control de calidad de las estaciones y garantizada la calidad de los datos, se procedió al estudio de homogenización, el cual es descrito a continuación.

8.5 Homogenización

La homogeneidad de los datos climáticos a través del tiempo incide directamente en la posibilidad o no de calcular y analizar tendencias (IPCC, 2007; WMO, 2009).

Las pruebas para demostrar que una serie de tiempo de una variable climática es razonablemente homogénea, tienen por objeto garantizar que las variaciones contenidas en las observaciones corresponden únicamente a procesos climáticos (Peterson *et. al.*, 1998; WMO, 2009; Zhang *et. al.*, 2011; Wang y Feng, 2013)

Para esta investigación se decidió utilizar la metodología de Wang y Feng (2013) mediante un modelo de regresión de dos fases, que emplea funciones de prueba F y t con penalización (PMT y PMF), capaces de detectar desplazamientos en la media de series de tiempo de tendencia nula, empleando una función de penalización construida empíricamente para emparejar el perfil de la tasa de falsas alarmas (posee típicamente forma de U) (Wang, 2003). El procedimiento detecta saltos en el tiempo $t = k$ en las series de tiempo $\{X_t\}$ de la variable, con tendencia lineal β , probando la hipótesis nula:

$$H_0 : X_t = \mu + \beta t + \varepsilon_t, t = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

$$H_a : \begin{cases} X_t = \mu_1 + \beta t + \varepsilon_t, & t \leq k \\ X_t = \mu_2 + \beta t + \varepsilon_t, & k - 1 \leq t \leq N \end{cases} \quad (2)$$

Dónde:

ε_t .- Variable gaussiana distribuida idéntica e independientemente

μ .- Media igual a cero y varianza desconocida.

β .- Ordenada al origen.

En la ecuación (2) μ_1 y μ_2 son diferentes. Cuando H_a es verdadera, entonces $t = k$ es un punto de salto y $\Delta = |\mu_1 - \mu_2|$ corresponde a la magnitud del salto (o cambio medio). Cuando el estadístico F es mayor que el valor crítico que corresponde al percentil 95, el segundo modelo se acepta y se concluye que existe un paso en la serie probada

$$F_{max} = \max_{1 \leq K \leq N-1} F_c(k) \quad (3)$$

Dónde:

$$F_c(k) = \frac{SSE_0 - SSE_A}{SSE_A / N - 3}, \quad (4)$$

$$SSE_A = \sum_{t=1}^K (X_t - \hat{\mu}_0 - \hat{\beta}_0 t)^2, \quad (5)$$

y

$$SSE_0 = \sum_{t=1}^N (X_t - \hat{\mu} - \hat{\beta}_0 t)^2, \quad (6)$$

Realizadas las detecciones, se procedió a homogenizar mediante el software RHtest V4 (Wang y Feng, 2013) corrigiendo las magnitudes de los saltos en cada punto en cuestión, pudiendo hacerse por medio de ajuste de cuartiles (QM-adjust).

El procedimiento debe repetirse para cada una de las estaciones, para lo cual se creó un ciclo simple de procesamiento dentro del lenguaje R, habiendo introducido en un archivo la lista de todas las estaciones a procesar.

8.6 Cálculo de los índices de cambio climático

El Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI) constituido conjuntamente con la OMM, el proyecto de variabilidad climática (CLIVAR) y la Comisión Conjunta de Oceanografía y Meteorología Marítima (JCOMM), han propuesto un conjunto de 27 índices de cambio climático útiles en la detección y monitoreo de los extremos del clima (Karl *et al.*, 1999; Peterson, 2005).

Los índices climáticos están basados en series de datos y largo tiempo de temperatura y precipitación, y son adecuados para el análisis de los fenómenos meteorológicos extremos. Los eventos extremos ocurren varias veces al año o por temporada dándoles propiedades estadísticas robustas (Karl *et al.*, 1999; Peterson, 2005). Un índice climático es un indicador de cambios observados en el clima (Hansen *et al.*, 1998). Los indicadores, tales como la frecuencia de las

temperaturas extremas, olas de calor o la cantidad de lluvia son cantidades que son de gran interés para la población por su importancia económica.

La probabilidad de detección de los fenómenos meteorológicos extremos disminuye, cuanto más raro es el acontecimiento (Klein Tank y Können, 2003). La ventaja del uso de índices para la detección del cambio climático es que:

- 1) Pueden ser aplicados a diferentes parámetros climáticos como temperatura y precipitación.
- 2) Permiten una fácil comparación de tendencias entre diferentes regiones climáticas.
- 3) Son fácilmente comprensibles y manejables para realizar estudios de variabilidad y tendencias del cambio climático.

En este estudio se utilizaron 9 índices relacionados con la temperatura, ya que el comportamiento de esta variable obedece a una distribución normal, al contrario de la precipitación que se encuentra influenciada por otros factores como la fisiografía local y su contexto regional y global. A continuación se muestra la definición formal de los índices publicados en el manual de Zhang y Yang (2004), sus actualizaciones en la definición y el software sobre los índices del ETCCDI pueden consultarse en el sitio electrónico <http://cccma.seos.uvic.ca/etccdi/index.shtml>, desarrollado conjuntamente por la Universidad de Victoria y la División de Investigación Climática de Environment Canada

1. *TXx. Temperatura máxima extrema*

Sea Tx_{xkj} la temperatura máxima diaria en el mes k , periodo j . La máxima temperatura máxima diaria cada mes es entonces:

$$Tx_{xkj} = \max Tx_{xkj}$$

2. *TNx. Temperatura mínima más alta*

Sea Tn_{xkj} la temperatura mínima diaria en el mes k , periodo j . La máxima temperatura mínima diaria cada mes es entonces:

$$Tn_{xkj} = \max Tn_{xkj}$$

3. *TXn. Temperatura máxima más baja.*

Sea Tx_{nkj} la temperatura máxima diaria en el mes k , periodo j . La mínima temperatura máxima diaria cada mes es entonces:

$$Tx_{nkj} = \min Tx_{nkj}$$

4. *TNn. Temperatura mínima extrema.*

Sea Tn_{nkj} la temperatura mínima diaria en el mes k , periodo j . La mínima temperatura mínima diaria en cada mes es entonces:

$$Tn_{nkj} = \min Tn_{nkj}$$

5. *Tn10p. Frecuencia de noches frías.*

Sea Tn_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i en el periodo j y sea el día calendario del percentil 10 centrado en una ventana de 5-días. El índice indica el porcentaje de tiempo, donde:

$$Tn_{ij} < T_n en 10p$$

6. *Tx10p. Frecuencia de días frescos.*

Sea Tx la temperatura máxima diaria en el día i en el periodo j y sea $T_x en 10p$ el día calendario del percentil 10 centrado en una ventana de 5-días. El índice indica el porcentaje del tiempo en el que:

$$Tx_{ij} < T_x en 10p$$

7. *Tn90p. Frecuencia de noches cálidas.*

Sea la temperatura mínima diaria en el día en el periodo j Tn_{ij} y sea $T_n en 90$ el día calendario del percentil 90 centrado en una ventana de 5-días. El porcentaje del tiempo es determinado, donde:

$$Tn_{ij} > T_n en 90p$$

8. *T_x90p. Frecuencia de días calurosos.*

Sea la temperatura máxima diaria en el día *i*-ésimo en el período *j* *T_{xj}* y sea *T_x en 90* el día calendario del percentil 90 centrado en una ventana de 5-días. El porcentaje del tiempo es determinado, donde:

$$Tx_{ij} > T_x en 90p$$

9. *WSDI. Duración de los períodos cálidos (Warm Spells Duration Index).*

Sea la temperatura máxima diaria en el día *i* en el periodo *j* *T_{xj}* y sea *T_x en 90* el día calendario del percentil 90 centrado en una ventana de 5-días. Entonces el número de días por periodo es sumado donde, en intervalos de por lo menos 6 días consecutivos:

$$Tx_{ij} > T_x en 90p$$

Los índices de cambio climático, sólo deben calcularse si se ha realizado un estricto control de calidad y la homogenización de las series de tiempo. El cálculo de los índices supone una serie de pasos dependientes entre sí como se muestra en la figura nueve:

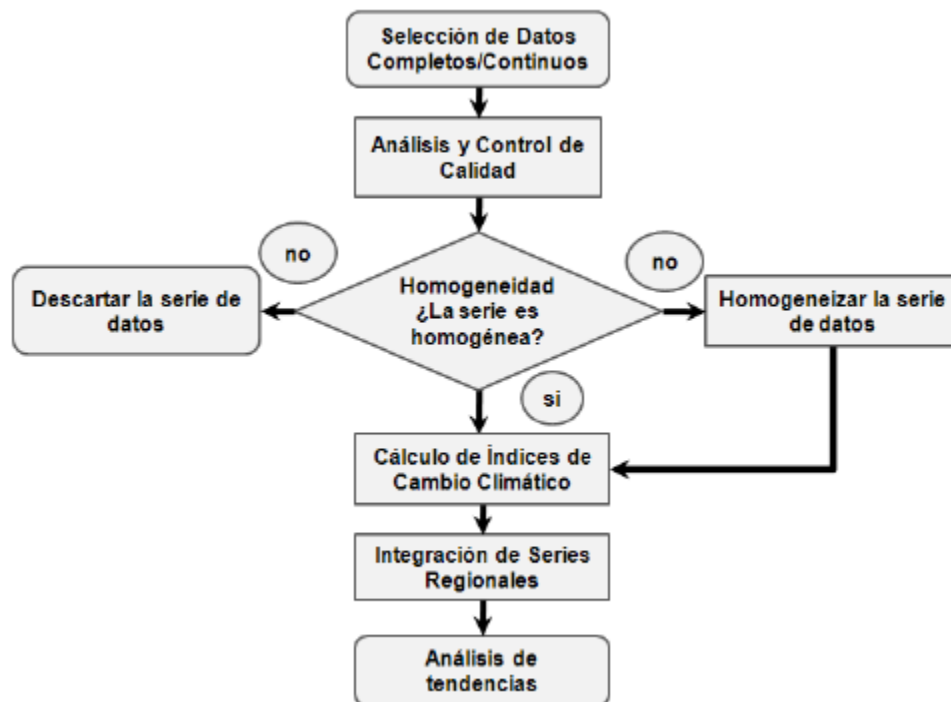


Figura 9. Pasos para el cálculo y análisis de los índices de cambio climático. Fuente: Guía para el Cálculo y Uso de Índices de Cambio Climático en México (INECC, 2010).

El Software RClimdex (Zhang y Yang, 2004) provee una plantilla adecuada para calcular estos índices de manera eficiente como lo muestra la figura 10. Para el cálculo de los índices será necesario establecer los siguientes parámetros: año inicial y final del período de referencia a utilizar; latitud del punto de observación; umbral de lluvia definido por el usuario para el índice R_{nn} ; y umbrales superior e inferior de temperatura máxima y mínima para los índices SU_n , FD_n , TR_n , ID_n , donde “n” son los valores definidos por el usuario. Finalmente, deben seleccionarse los índices que deseen calcularse. El programa arroja los resultados en forma de gráficas para su visualización, las series con los datos de los índices y las tendencias de forma estadística.

Parameter	Value
First year of base period	1961
Last year of base period	1990
Latitude of this station location	0
Longitude of this station location	0
User defined upper threshold of daily maximum temperature	25
User defined lower threshold of daily maximum temperature	0
User defined upper threshold of daily minimum temperature	20
User defined lower threshold of daily minimum temperature	0
User defined daily precipitation threshold	25

Figura 10. Especificación de parámetros definidos por el usuario. Fuente: (Zhang y Yang, 2004)

Los pasos para utilizar RClimdex en el cálculo de los índices se describen con detalle en el manual de RClimdex (Zhang y Yang, 2004) el cual puede obtenerse del sitio del ETCCDI (donde una traducción en español por J. L. Santos también está disponible).

9. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El estado de Jalisco se localiza en la región media occidental del país entre las siguientes coordenadas 22° 45' al norte y 18° 55' al sur de latitud, de longitud al este 101° 28' y al oeste 105° 42'. Posee una extensión territorial de 77965.8km² (INEGI, 2014) la cual representa el 4% de la superficie del país. Colinda con el Estado de Nayarit hacia el noroeste; Zacatecas y Aguascalientes hacia el norte; Guanajuato y San Luis Potosí hacia el este y Colima y Michoacán hacia el sur; y hacia el poniente una franja costera de 351 km con el Océano Pacífico (INEGI, 2014).

Su localización geográfica lo hace estar situado en una de las regiones más importantes de México (figura 11) ya que constituye la transición entre las regiones biogeográficas neártica y neotropical (Rzedowski, 1978; Challenger, 1998).



Figura 11. Localización, límites y relieve del estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2013; 2014).

9.1 Material geológico y Relieve

Las condiciones del relieve del Estado son producto de múltiples procesos geológicos que se han presentado durante los períodos Terciario y Cuaternario, es decir hace aproximadamente 65 y 10 millones de años. Su configuración está directamente vinculada con la evolución tectónica del territorio Mexicano, que ha sido resultado de la interacción de un conjunto de elementos tectónicos como placas formadas por bloques continentales y oceánicos que la circundan (Castillo-Aja y Valdivia-Ornelas, 2001). Uno de los principales atributos naturales del Estado lo constituye el hecho de ser una zona de traslapamiento de tres grandes provincias fisiográficas del territorio mexicano; Jalisco es la zona de contacto entre la Sierra Madre Occidental y el Sistema Neovolcánico o Eje Neovolcánico, entre la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre del Sur y entre esta última y el Sistema Neovolcánico (Figura 12). De allí la gran variedad de aspectos litológicos, geológicos y morfológicos que presenta el territorio jalisciense así como gran variedad de paisajes naturales (Barrera-Rodríguez y Zaragoza-Vargas, 1998).

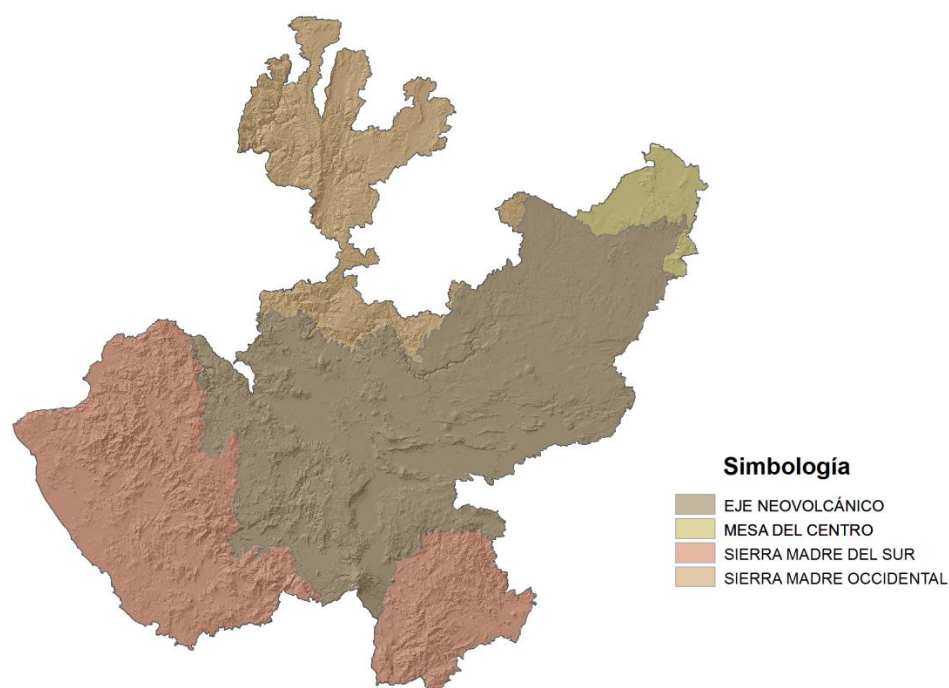


Figura 12. Provincias fisiográficas del estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2009;2014).

El relieve de Jalisco se caracteriza por el predominio de las montañas y la ausencia total de extensas llanuras. En la parte nororiental predominan sierras, con una altitud de 2 850 m como Sierra Alta y lomeríos de origen volcánico, separadas por llanuras. En el norte hay cañones con 400 y sierras con 2 860 m de altitud, entre ellos hay valles estrechos. En el centro, al sur de la ciudad de Guadalajara se encuentra el Lago de Chapala; en el occidente y suroccidente, predominan las sierras de origen ígneo extrusivo o volcánico. La parte occidental del estado también la forman en su mayoría sierras de rocas ígneas intrusivas que llegan hasta la orilla del mar; de la erosión de estas elevaciones se ha desarrollado una llanura que se localiza hacia el suroccidente de la población de Tomatlán (SSP, 1981).

El relieve ha sido una influencia determinante sobre el desarrollo socioeconómico del estado. El territorio en su mayoría presenta fuertes pendientes por lo que las zonas de planicie son en las que se encuentra el desarrollo socioeconómico del estado. El proceso de concentración de la población depende en su fase inicial de las condiciones naturales del Estado y, después por el propio desarrollo económico de las mismas. (CONAGUA, 2009).

9.2 Suelos

El suelo es la mayor reserva de carbono orgánico terrestre en la biosfera, almacena más C que el que está contenido en las plantas y la atmósfera en conjunto (Schlesinger y Andrews, 2000)

Los patrones y controles de suelo en almacenamiento (SOC) de carbono orgánico son fundamentales para nuestra comprensión de la biosfera, dada la importancia del SOC para los procesos de los ecosistemas (Woodwell *et al.*, 1998). Nuestra capacidad para predecir y mitigar las consecuencias del cambio climático y el cambio de la cubierta de la tierra depende, en parte, en una clara descripción de

las distribuciones del SOC y los controles de las entradas y salidas del SOC (Jóbbagy y Jackson, 2000; Zhou *et al.*, 2010)

El estado de Jalisco posee una gran diversidad climática, un relieve heterogéneo y diferentes condiciones de humedad. Debido a esto, posee 22 de los 30 Grupos de Suelos de Referencia que existen en el país (FAO, 2007).

Los suelos que se muestran a continuación son los más representativos del estado ya que superan el 5% de extensión territorial, en conjunto acumulan el 88.53% de los suelos encontrados en la entidad como se puede apreciar en el Cuadro 1 y figura 13.

Cuadro 1. Unidades de suelos del estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2002)

Tipo de suelo	Porcentaje (%)
Cambisol	9.41
Cuerpo de agua	2.14
Leptosol	16.70
Luvisol	11.48
Otros tipos de suelos	8.41
Phaeozem	24.40
Regosol	18.94
Vertisol	7.62
Zona Urbana	0.91
Total	100.00

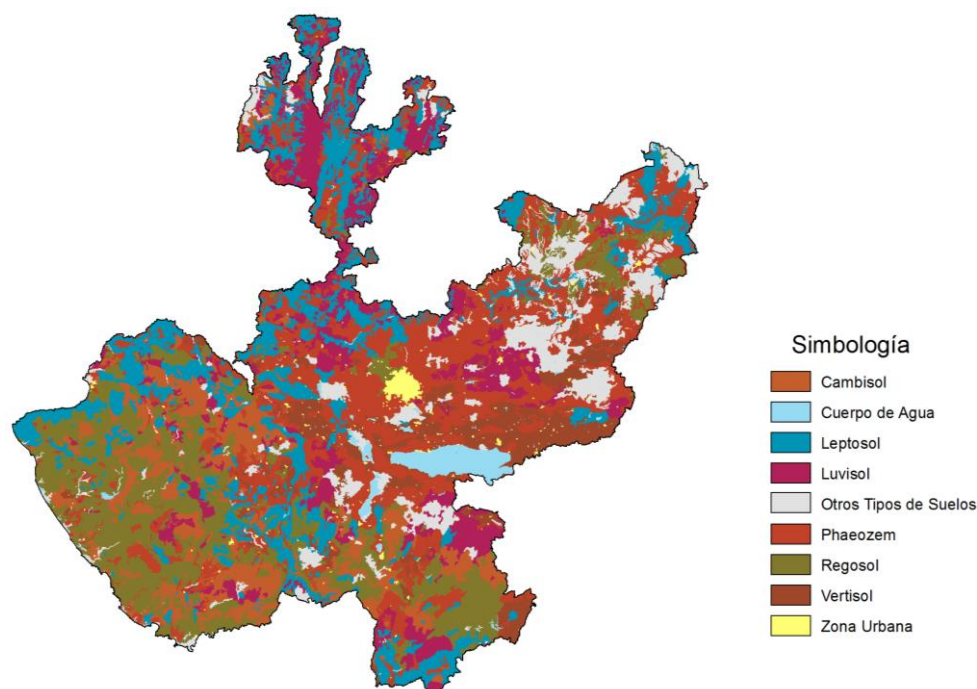


Figura 13. Suelos presentes en el estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2002).

9.3 Uso del suelo y vegetación

La relación existente entre el clima y la vegetación fue planteada por Teofrasto en el siglo III ac. (Hort, 1916). La vegetación influye en el clima a través de factores físicos, químicos y biológicos que afectan a la energética del planeta, el ciclo hidrológico, y la composición atmosférica. Estas complejas interacciones entre la vegetación y la atmósfera pueden amortiguar o amplificar el cambio climático antropogénico.

De acuerdo a la clasificación de Rzedowski (1978) adaptada de los datos de la Serie V de uso de suelo y vegetación del INEGI (2013), en el estado de Jalisco podemos encontrar los siguientes tipos de vegetación (cuadro 2). Se encontró que las coberturas dominantes son la agricultura, el bosque tropical caducifolio y los bosques templados. Como puede observarse en la figura 14.

Cuadro 2. Tipos de coberturas del suelo y comunidades vegetales del estado de Jalisco.

Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2013)

Tipo de Cobertura	Porcentaje (%)
Agricultura	24.41
Área sin vegetación	0.13
Área Urbana	0.91
Bosque de coníferas	12.25
Bosque de Quercus	17.3
Bosque mesófilo de montaña	0.29
Bosque tropical caducifolio	21.08
Bosque tropical subcaducifolio	3.91
Cuerpo de agua	1.82
Matorral xerófilo	0.77
Otros tipos de vegetación	0.19
Pastizal antropogénico	6.12
Pastizal natural	9.05
Vegetación secundaria	1.77
Total	100.00

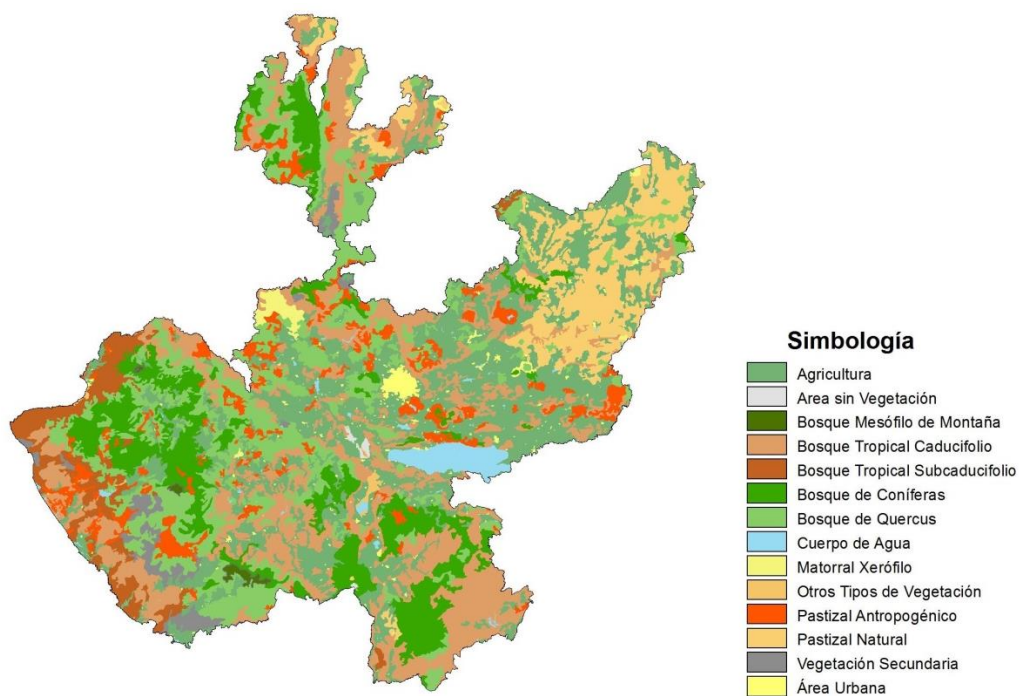


Figura 14. Uso de Suelo y Vegetación del estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2013)

9.4 Hidrología

El estado de Jalisco, se encuentra dentro de la vertiente del Pacífico. Corrientes importantes como el río Lerma, Santiago, Verde, Armería, Coahuayana y Ameca surcan su territorio. Además posee el sistema lacustre más grande e importante del país, el Lago de Chapala que ocupa una extensión de 1,102 km² (CONAGUA, 2009).

Para fines de estudio, se considera que el estado de Jalisco cuenta con 21 cuencas hidrográficas (Cuadro 3 y Figura 15).

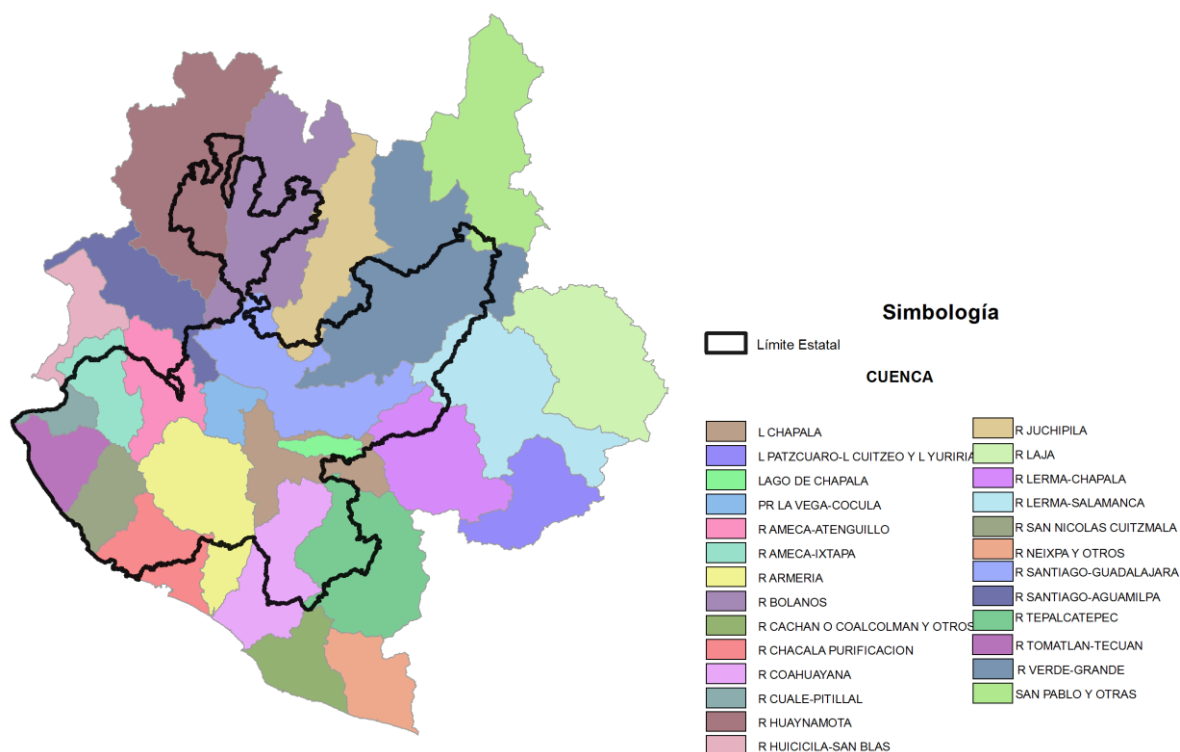


Figura 15. Cuencas hidrográficas del estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2012; 2014)

Cuadro 3. Superficie de las cuencas hidrográficas del estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2012)

Región Hidrológica	Cuenca	Superficie estatal (%)
Lerma-Santiago	R. Lerma-Santiago	2.09
	R. Lerma-Chapala	2.65
	L. Chapala	6.86
	R. Santiago-Guadalajara	12.05
	R. Santiago-Aguamilpa	1.35
	R. Verde Grande	14.36
	R. Juchipila	0.59
	R. Bolaños	6.79
	R. Huaynamota	4.34
Huicila	R. Cuale-Pitillal	2.13
Ameca	Presa La Vega-Cocula	2.68
	R. Ameca-Atenguillo	4.9
	R. Ameca-Ixtapa	4.26
Costa de Jalisco	R. Chapala-Purificación	4.43
	R. San Nicolás-Cuitzamala	4.94
	R. Tomatlán-Tecuán	4.68
Armería-Coahuayana	R. Coahuayana	5.82
	R. Armería	10.03
Balsas	R. Tepalcatepec	4.62
El Salado	San Pablo y otras	0.43

Aguas superficiales

La red fluvial del estado es muy amplia, se compone principalmente con el río Lerma que tiene sus orígenes en los estados de México y recibe escurrimientos de sus afluentes en el estado de Querétaro, Guanajuato y Michoacán, este alimenta el Lago de Chapala; aguas debajo de este importante cuerpo, el Río Santiago cruza todo el estado formando el sistema Lerma-Santiago recibiendo escurrimientos provenientes de afluentes en Zacatecas y Aguascalientes, descargando finalmente grandes caudales en el Océano Pacífico. Otras corrientes importantes como el río Armería, Coahuayana y el Ameca, tienen sus orígenes en las montañas de las Sierra Madre Occidental y del Sur y también descargan sus

escurrimientos en el Océano Pacífico. El escurrimiento medio para el estado es de 15376 hm³ (CONAGUA, 2009).

Aguas Subterráneas

Según la CONAGUA (2009), se tienen identificados 59 acuíferos distribuidos en 28 zonas geohidrológicas. Solamente se cuenta con información de 56 de ellos, por lo tanto, se tiene una recarga promedio anual es de 2170 hm³ y una extracción media de 1104 hm³ anuales por medio de 7933 aprovechamientos (CONAGUA, 2011).

9.5 Climatología

El relieve de Jalisco presenta una gran variedad de formas, alturas y desniveles; está compuesto por grandes y altas montañas, llanuras, extensas mesetas, colinas, valles y depresiones. Las desigualdades de la superficie terrestre, afectan la distribución de la temperatura y la presión, ya que ambas disminuyen con la altura de acuerdo a leyes adiabáticas (Coulter, 1967). Las montañas modifican la precipitación, porque representan barreras ante el paso de las formaciones nubosas, que al chocar por el lado de barlovento se producen abundantes lluvias, mientras que en la vertiente contraria el viento (sotavento) que se desliza, es seco y más cálido (Coulter, 1967; Huggett, 2007; Davie, 2008)

El estado abarca porciones de cuatro provincias fisiográficas de México: la fracción sureste de la Sierra Madre Occidental, parte sur de la Altiplanicie Mexicana o Mesa del Centro, las zonas norte y oeste del Eje Neovolcánico Transversal, y por último, la sección noroeste de la Sierra Madre del Sur. De acuerdo al mapa de las regiones climáticas de México, el estado de Jalisco se encuentra asentado en cuatro de las once regiones en las que está dividido el país. Estas son: Pacífico Central, Centro, Cuenca del Río Balsas. Siendo la región centro la que ocupa más parte del territorio del estado.

El estado de Jalisco se encuentra dentro de una zona intertropical. Aun así, posee una gran diversidad de climas debido a la heterogeneidad de su relieve y la influencia que tiene el país de diversos cuerpos de agua que rodean al país, como son el Océano Pacífico y el Golfo de México, junto con cuerpos locales como el lago de Chapala (Barrera-Rodríguez y Zaragoza-Vargas, 1998). Por todo ello se requiere de una clasificación del clima de Jalisco, ya que describe el comportamiento de fenómenos meteorológicos como la temperatura y precipitación.

Clasificación de Köppen

El sistema de clasificación más utilizado a nivel mundial es el de Wladimir Peter Köppen y fue creado en 1900. Aunque ha sido criticada y mejorada, sigue siendo hasta hoy uno de los métodos más conocidos y usados de clasificación climática (García, 1973). Su punto de partida consiste en que la vegetación natural constituye un indicador del clima, y algunas de sus categorías se apoyan en los límites climáticos de ciertas formas de vegetales. Los climas son definidos principalmente por los valores medios anuales y mensuales de la temperatura y de la precipitación (Inzunza, 2005).

Köppen (1948) clasificó los climas en A cálidos húmedos tropicales; los B subdivididos en los subtipos BW secos desérticos y BS secos esteparios; los C templados; los D templados fríos, y los E subdivididos en los ET fríos de tundra o páramos y los EF muy fríos con nieves permanentes. Los regímenes de lluvia posibles en México son con lluvias en verano (w); abundantes todo el año (f); escasas todo el año (x'), y con lluvia en invierno (s). La combinación de grupo climático y régimen de lluvia forma los tipos de clima

Dada la localización de México, dentro de los trópicos y algo distante de las zonas del planeta dominadas por ecosistemas templados, la presencia de estos en el país se relaciona con el efecto de la altitud y con su vínculo al clima. A mayor altitud la temperatura baja, incluso hasta permitir zonas de nieve perpetua en las

La presencia, distribución y variabilidad de los ecosistemas templados en las sierras y serranías del país no sólo depende de la existencia misma de éstas, sino de otros factores como son la abundancia y la estacionalidad de la lluvia, el tipo de suelo, la orientación de la ladera con respecto al sol y la historia biogeográfica de la zona, entre otros, determinan la distribución de los ecosistemas en lo que se ha llamado “pisos ecológicos” de las zonas montañosas (Challenger , 1998).

Los datos de clima fueron calculados utilizando la información de la carta climática del conjunto de datos vectoriales escala 1:1000000 de CONABIO (García, 1998). Su interpretación está basada en el trabajo de clasificación de Enriqueta García (García, 1964). En la figura 16 se muestra la distribución de los climas en el estado de Jalisco y en el cuadro 4 su superficie.



Cuadro 4. Tipos de climas y superficies en el estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de (García, 1998; INEGI, 2014)

Grupo Climático	Porcentaje (%)
A	23.54
B	11.72
C	64.67
E	0.07
Total	100

Grupo de climas A (Cálidos – Tropical-Megathermal)

El grupo de climas cálidos se caracteriza por tener una temperatura anual mayor a 22°C y una temperatura media del mes más frío mayor de 18°C.

Grupo de climas B (secos)

Este tipo de climas presentan temperaturas diversas. Hay climas secos muy cálidos, hasta secos con temperaturas semifrías.

Grupos de clima C (Templado mesothermal)

Se caracteriza porque la temperatura media del mes más frío es menor de 18 °C y superior a -3 °C y la del mes más cálido es superior a 10 °C.

Grupos de clima D (Templados Continentales-Microtermales)

Estos climas tienen una temperatura promedio superior a los 10°C en sus meses más cálidos, y el mes más frío con una temperatura promedio inferior a los -3°C. Este tipo de climas generalmente ocurren en el interior de los continentes en las costas superiores del lado este, normalmente en una latitud de 40°N. En el hemisferio sur, son extremadamente raros debido a que en las latitudes medias el tamaño de las masas continentales son muy pequeñas y la casi ausencia de ellas en los 40-60° de latitud. (Rohli y Vega, 2007). Este clima no se encuentra en nuestro país

Grupos de clima E (Frío)

Este clima se caracteriza por tener una temperatura promedio inferior a los 10°C en los 12 meses del año. La temperatura media del mes más cálido es menor de 6.5°C. Presenta los tipos ETH (clima frío de altura), ETHC (frío de altura con marcado invierno) y EFH (clima muy frío de altura). Los climas E(T)H se y E(T)HC encuentran entre los 4 000 y 5 100 m de altitud, en México. Este tipo de clima se encuentra en la cima de los volcanes de Colima.

9.6 Temperatura del aire

La temperatura media anual del estado es de 21.7 °C. Su oscilación anual resulta de la diferencia entre las temperaturas mayor y menor de las temperaturas medias mensuales. Para el estado de Jalisco, según (Capel-Molina y Castillo-Requena, 1984) los valores más bajos de la oscilación térmica se localizan en las costas y vertientes marítimas, donde el elevado contenido de vapor de agua de la masa de aire superficial, al elevar la temperatura, reduce la amplitud de la oscilación. También señalaron que la temperatura media anual disminuye en el sentido de la latitud, de Sur a Norte, y desde el litoral hacia el interior del continente. La distribución espacial de temperatura media anual se muestra en la Figura 17. Este parámetro se estima utilizando los registros de temperatura máxima y mínima en las estaciones climatológicas tradicionales. Su distribución a lo largo del año en el estado se puede apreciar en la Figura 18.

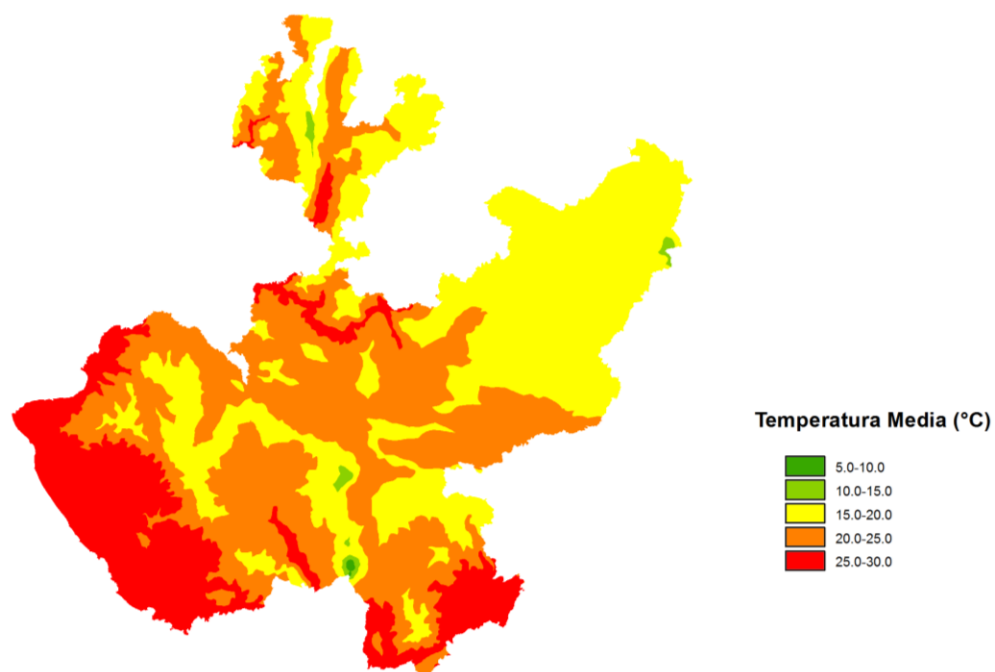


Figura 17. Mapa de distribución de la temperatura media en el estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2011b)

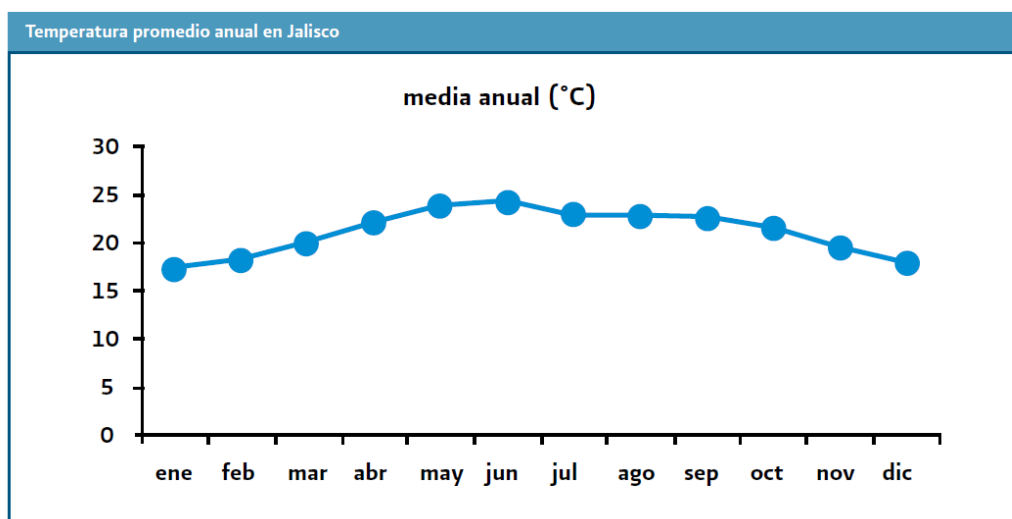


Figura 18. Distribución de la temperatura media en el estado de Jalisco a lo largo del año. Fuente: (CONAGUA, 2009).

9.7 Precipitación

Precipitación es la caída de agua de las nubes en estado líquido o sólido. Se presenta cuando las partículas de vapor de agua se condensan en la atmósfera y forman gotas que, debido a su peso, no pueden seguir flotando y caen por efecto de la gravedad (Davie, 2008).

En la mayor parte de la República Mexicana la temporada de lluvias ocurre en el periodo que comprende de junio a mediados de octubre, por lo que se le ha llamado lluvias de verano; también se presenta un corto periodo de secas en el mes de agosto, conocido con el nombre de canícula (Tamayo, 1990).

En la mitad del año que comprende de noviembre a abril, predominan condiciones de sequía. En enero, los vientos del Oeste suelen acarrear algunas perturbaciones propias de las latitudes medias y producir descenso en la temperatura y ligero incremento en la precipitación. Febrero y marzo son los meses más secos. Al empezar a intensificarse los vientos alisios en abril, hay un incremento en la cantidad de lluvia que continuará durante la época húmeda (Vidal-Zepeda, 2005).

De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua, la precipitación media anual en el territorio estatal es de 865 mm. El 75% se registra durante el período comprendido entre los meses de junio y octubre, como lo muestra la figura 20. Su distribución no es uniforme, ya que el potencial hidrológico en las regiones centro y sur es mucho mayor a las regiones norte y altos. El volumen de lluvia para el estado es de 69 319 hm³ (CONAGUA, 2009). En la figura 19 se muestra la distribución espacial de precipitación total anual.

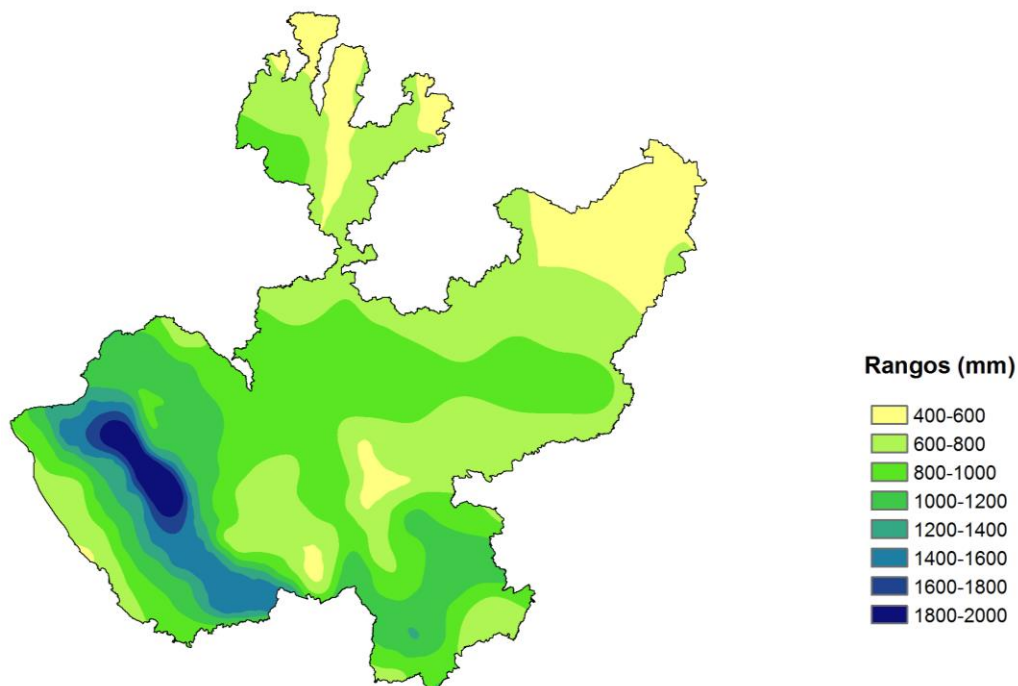


Figura 19. Mapa de distribución de la precipitación total anual del estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2011a)

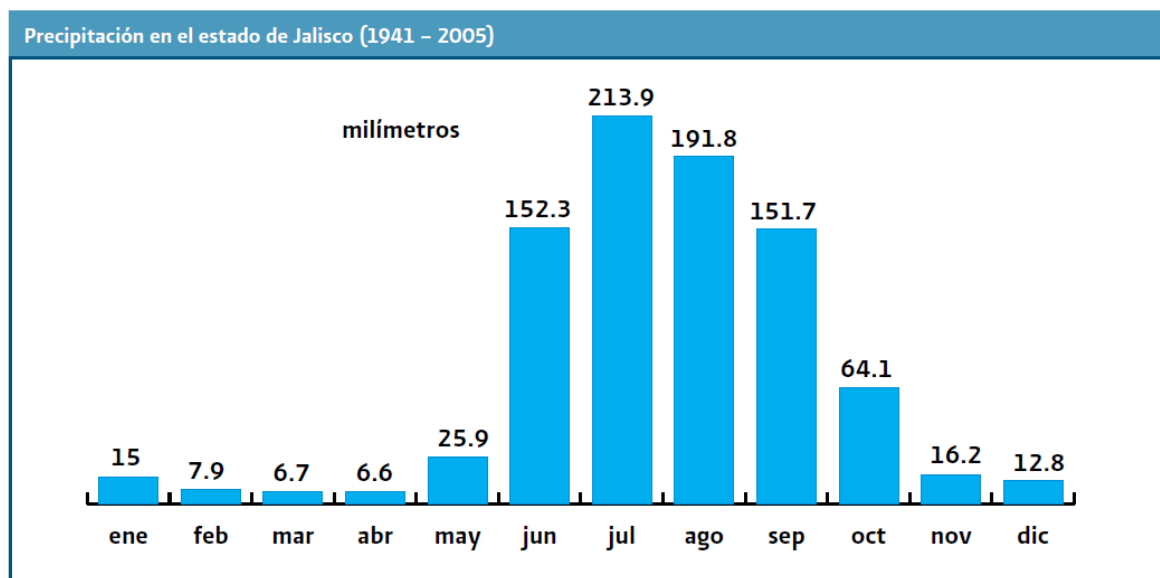


Figura 20. Distribución de la precipitación en el estado de Jalisco a lo largo del año. Fuente: (CONAGUA, 2009).

9.8 Ciclones tropicales

El estado de Jalisco se sitúa en la región de afectación por ciclones tropicales del Pacífico Nororiental. Los ciclones tropicales se originan sobre las aguas oceánicas cuya temperatura superficial es superior a 26°-27°C en la zona comprendida entre los 5° y 15° de latitud Norte y Sur, fuera de la banda ecuatorial de bajas presiones (Black, 1983; Camargo y Sobel, 2004).

La formación de ciclones tropicales en México y, particularmente en Jalisco, se concentra durante el verano y parte del otoño, teniendo su mayor frecuencia en septiembre. Se originan en el Mar de las Antillas y en el Océano Pacífico (CENAPRED, 2007).

De acuerdo a Bravo-Lujano (2001) la mayor parte de la precipitación que se recibe en el territorio durante esta temporada, se debe a los ciclones tropicales, pues no solo afectan las costas del país, su influencia llega hasta el interior.

A pesar de que los ciclones representan una seria amenaza que provoca cuantiosos daños y pérdidas económicas, juegan un papel importante en la distribución de la precipitación dentro del territorio nacional, ya que benefician a las zonas áridas y semiáridas con el escurrimiento almacenado ya sea en presas o mediante la recarga de acuíferos y así incrementar la disponibilidad de este recurso (Rosengaus-Moshinsky *et al.*, 2002).

El período de actividad de ciclones tropicales en México se declara oficialmente a partir del 15 de mayo y termina el 30 de noviembre del año.

10.RESULTADOS

10.1 Control de calidad

Para el desarrollo del trabajo se emplearon datos de 256 estaciones meteorológicas, de las cuales se realizó una depuración mediante el método de control de calidad RClimDex, resultando 89 estaciones con control de calidad y de éstas se eligieron 14 estaciones meteorológicas homogeneizadas del estado de Jalisco, las que se muestran en el cuadro 5. La representación gráfica de los resultados se elaboró con el software ArcGIS 10.1. Se realizaron asociaciones entre la tabla de atributos de la base de estaciones georreferenciadas con los resultados de los cálculos realizados en RClimDex (mapas de distribución de las tendencias) y los de las anomalías de temperaturas para ver su distribución espacial.

Cuadro 5. Estaciones meteorológicas, base del análisis de temperaturas del estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

Clave	Nombre	Municipio	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud (msnm.)
14002	Acatlán de Juárez	Acatlán de Juárez	20°25'34"	103°35'52"	1344.51
14011	Apazolco	La Huerta	19°18'23"	104°53'15"	5.00
14018	Atoyac	Atoyac	20°0'37"	103°30'55"	1341.26
14040	Chapala	Chapala	20°17'25"	103°12'6"	1510.26
14044	El Bramador	Talpa de Allende	20°18'36"	105°2'59"	1704.00
14047	El Fuerte	Ocotlán	20°19'51"	102°45'48"	1540.00
14048	El Chiflón	Cihuatlán	19°17'30"	104°33'10"	360.00
14052	El Nogal	Tapalpa	19°52'59"	103°44'49"	1963.29
14053	El Pinito	Huejuquilla el Alto	22°36'33'	103°56'54"	1684.00
14070	Huascato	Degollado	20°29'23"	102°13'51"	1658.16
14081	La Desembocada	Puerto Vallarta	20°43'40"	105°9'26"	10.42
14087	La Red	Tepatitlán de Morelos	20°43'11"	102°48'50"	1725.46
14093	Magdalena	Magdalena	20°54'23"	103°58'47"	1380.00

Las 13 estaciones meteorológicas elegidas representan en forma general los climas regionales que caracterizan los paisajes del Estado. En la Figura 21, se muestra la distribución de las estaciones meteorológicas en el estado de Jalisco; especialmente de las zonas económicas Centro y Costa y una para el Norte.

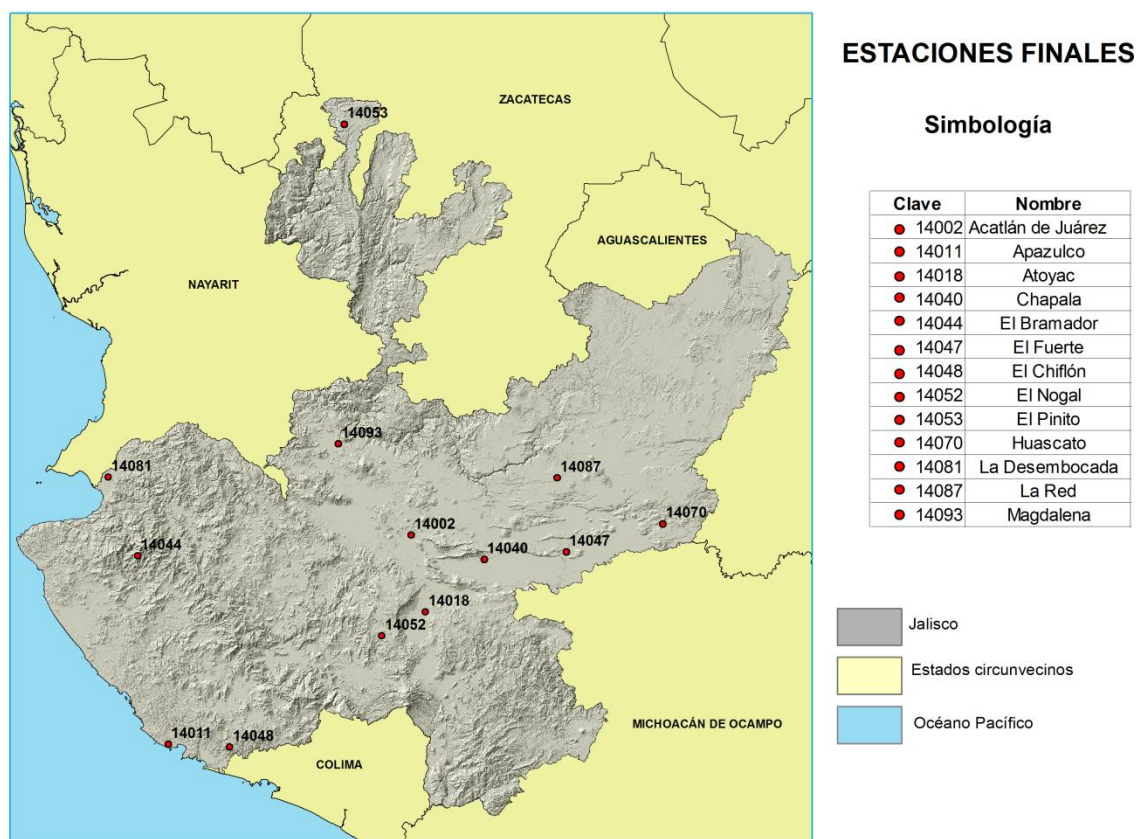


Figura 21. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas depuradas. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

El análisis de coherencia espacio-temporal se refiere a las evaluaciones realizadas a escala global con el fin de detectar e identificar los cambios del clima debidos a la influencia antrópica, forzando el incremento de temperaturas en el último tercio del siglo XX, con ello se manifiesta que una parte del calentamiento global se debe a las actividades humanas (Brunet, 2010).

Las series de datos de temperatura empleados en este trabajo, se depuraron para identificar y corregir datos sospechosos, es decir que están fuera del rango o intervalo de confianza de 99.9% de probabilidad. En el Cuadro 6 se muestran las

estaciones meteorológicas empleadas con su respectivo periodo de observaciones, así como el número de datos sospechosos y el porcentaje de éstos siendo corregidos, no corregidos o no disponibles. Esta corrección se realizó mediante un análisis de similitud espacio – temporal en comportamiento de temperatura en la estación de análisis y la estación vecina, así como el análisis de metadatos de información climatológica de estación.

Cuadro 6. Resultados de los análisis de coherencia espacial y temporal para las estaciones climatológicas

Clave	Nombre	Período de Operación	Datos	Corregidos	No Corregidos	No Disponibles
			sospechosos	(%)	(%)	(%)
14002	Acatlán de Juárez	1961-2009	76	67.1	10.5	22.4
14011	Apazulco	1961-2009	122	6.6	0	93.4
14018	Atoyac	1943-2009	64	34.5	25	40.5
14038	Cuixtla	1954-2011	89	44.9	12.4	42.7
14040	Chapala	1934-2011	91	46.2	52.7	1.1
14044	El Bramador	1959-2009	29	89.7	10.3	0
14047	El Fuerte	1961-2009	17	88.2	0	11.8
14048	El Chiflón	1954-2011	42	40.5	19	40.5
14052	El Nogal	1946-2011	41	39	58.5	2.5
14053	El Pinito	1964-2009	35	94.1	5.9	0
14070	Huascato	1964-2009	16	75	18.8	3.2
14081	La Desembocada	1949-2009	65	72.3	23.1	4.6
14087	La Red	1961-2009	34	70.6	23.5	5.9
14093	Magdalena	1955-2011	94	81.9	16	2.1

10.2 Homogenización de las series de temperatura

A partir de corrección de datos sospechosos se aplicó el proceso de verificación de homogeneización de series largas. Es importante subrayar que desde la década de los 80, diversos autores recomiendan que la homogenización de las series de tiempo sea un proceso previo a cualquier análisis estadístico, especialmente las técnicas para detectar la variabilidad y el cambio climático.

En los Cuadros 7, 8 y 9 se muestran los resultados de comportamiento de series largas de temperatura en 13 estaciones antes y después de procesos de homogeneización:

Cuadro 7. Ecuaciones de regresión para temperatura máxima en las estaciones meteorológicas seleccionadas, antes y después del proceso de homogenización

Clave	Ecuación de serie original	R ² - Ecuación original	Ecuación de serie homogeneizada	R ² - Ecuación de serie homogeneizada
14002	$y = 0.0406x + 28.509$	0.5922	$y = 0.0314x + 29.619$	0.7769
14011	$y = 0.0005x + 33.392$	0.00007	$y = 0.0314x + 29.603$	0.6314
14018	$y = 0.00006x + 28.37656$	0.0286	$y = 0.0766x + 25.794$	0.8694
14040	$y = 0.00007x + 23.88297$	0.0392	$y = 0.0289x + 24.543$	0.2362
14044	$y = 0.004x + 33.043$	0.0016	$y = 0.0354x + 32.111$	0.1441
14047	$y = 0.0538x + 26.108$	0.5646	$y = 0.0538x + 26.108$	0.5646
14048	$y = 0.0347x + 33.513$	0.1623	$y = 0.016x + 33.951$	0.3191
14052	$y = -0.0003x + 24.078$	0.0011	$y = 0.0842x + 18.876$	0.9281
14053	$y = 0.0761x + 25.539$	0.767	$y = 0.0761x + 25.539$	0.767
14070	$y = -0.0266x + 29.277$	0.0676	$y = 0.0775x + 22.756$	0.8024
14081	$y = 0.0116x + 32.181$	0.0083	$y = 0.05x + 30.612$	0.7898
14087	$y = 0.0158x + 26.306$	0.1516	$y = 0.0158x + 26.306$	0.1516
14093	$y = 0.0182x + 29.678$	0.0492	$y = 0.0243x + 27.474$	0.2022

Cuadro 8. Ecuaciones de regresión para temperatura media en las estaciones meteorológicas seleccionadas antes y después del proceso de homogenización

Clave	Ecuación de serie original	R ² - Ecuación original	Ecuación de serie homogeneizada	R ² - Ecuación de serie homogeneizada
14002	$y = 0.0109x + 20.219$	0.1469	$y = 0.0403x + 19.061$	0.7567
14011	$y = 0.024x + 24.125$	0.01321	$y = 0.0239x + 24.135$	0.5384
14018	$y = -0.00007x + 24.4527$	0.291	$y = 0.0188x + 20.411$	0.3032
14040	$y = 0.00004x + 19.22325$	0.0172	$y = 0.0239x + 19.617$	0.5265
14044	$y = 0.0295x + 24.619$	0.238	$y = 0.0411x + 24.308$	0.3848
14047	$y = 0.018x + 19.181$	0.0158	$y = 0.018x + 19.181$	0.2337
14048	$y = 0.00002x + 25.64218$	0.005	$y = 0.0293x + 14.376$	0.8974
14052	$y = -0.00005x + 17.9244$	0.0231	$y = 0.00009x + 12.48136$	0.7329
14053	$y = 0.0378x + 17.374$	0.6194	$y = 0.0685x + 16.242$	0.8384
14070	$y = 0.0015x + 20.115$	0.0009	$y = 0.0283x + 17.487$	0.5824
14081	$y = 0.0069x + 25.969$	0.0928	$y = 0.0259x + 25.18$	0.6418
14087	$y = 0.0092x + 18.092$	0.1432	$y = 0.0042x + 18.269$	0.0383
14093	$y = -0.0038x + 21.337$	0.0055	$y = 0.0094x + 20.499$	0.0942

Cuadro 9 Ecuaciones de regresión para temperatura mínima en las estaciones meteorológicas seleccionadas antes y después del proceso de homogeneización

Clave	Ecuación de serie original	R ² - Ecuación original	Ecuación de serie homogeneizada	R ² - Ecuación de serie homogeneizada
14002	$y = -0.0182x + 11.885$	0.2508	$y = 0.0196x + 10.436$	0.4097
14011	$y = 0.0123x + 18.713$	0.093	$y = 0.0123x + 18.713$	0.093
14018	$y = 0.0019x + 11.559$	0.0165	$y = -0.0085x + 18.939$	0.2487
14040	$y = 0.00001x + 14.49993$	0.001	$y = 0.0191x + 14.23$	0.6266
14044	$y = 0.0464x + 16.515$	0.2018	$y = 0.0464x + 16.515$	0.2631
14047	$y = -0.0419x + 13.597$	0.4754	$y = -0.0173x + 12.306$	0.1713
14048	$y = -0.0006x + 18.597$	0.001	$y = 0.072x + 13.698$	0.9076
14052	$y = 0.0278x + 9.8156$	0.5655	$y = 0.0278x + 9.8156$	0.5655
14053	$y = 0.0006x + 9.1173$	0.0003	$y = 0.0556x + 7.1062$	0.5936
14070	$y = 0.0295x + 10.954$	0.299	$y = -0.0208x + 12.218$	0.3888
14081	$y = 0.0014x + 19.743$	0.0035	$y = 0.0014x + 19.743$	0.0035
14087	$y = 0.0013x + 9.9557$	0.0016	$y = -0.0089x + 10.292$	0.0823
14093	$y = -0.0289x + 12.941$	0.3742	$y = 0.0054x + 13.217$	0.0502

Es importante subrayar, que el coeficiente de determinación normalmente incrementa su valor cuando las ecuaciones de regresión representan series climatológicas de temperatura máxima, media y mínima homogeneizados (Cuadros 7, 8 y 9). Sin embargo hay estaciones en donde el coeficiente de determinación decrece después del proceso de homogeneización (caso de estación 14087 para t_{med} , 14047 y 14093 para t_{min}). En estos casos, además si el metadato de la estación no está disponible, se recomienda descartar la estación del análisis de la región de estudio.

10.3 Anomalías de Temperaturas

Se tomó la base de datos diarios y se calcularon sus medias mensuales. Posteriormente, se calcularon las medias anuales y a partir de estas, las de cada periodo representativo: 1961-1990, 1971-2010, 1981-2010 y el periodo comprendido de 1991-2010 para evidenciar el cambio que ha habido en los últimos 20 años. La anomalía se calculó a partir de una simple diferencia entre los

valores tomando en cuenta el periodo base de 1961-1990. Esta representa su separación con respecto al valor medio durante un cierto periodo de referencia (Iglesias *et al.*, 2010).

Otro resultado sobresaliente obtenido en éste trabajo es el cambio del signo de tendencia en la temperatura media en las estaciones 14018, 14040, 14093 de tal manera que ahora, todas las estaciones muestran la temperatura media anual creciente con oscilación de 0.0 a 1.6 °C. Es decir, se detecta un calentamiento en todo el territorio del estado de Jalisco durante los últimos 30 - 40 años.

En los cuadros 10, 11 y 12 se muestran los promedios anuales de temperatura máxima, media y mínima respectivamente para los períodos de análisis 1971 – 2000, 1981 – 2010 y su oscilación con respecto al período de referencia 1961 – 1990.

Cuadro 10 Promedios anuales y oscilación de temperatura máxima para los períodos climáticamente representativos: 1961 – 1990, 1971 – 2000 y 1981 - 2010

Clave	$t_{\max(61-90)},$ °C	$t_{\max(71-00)},$ °C	$t_{\max(81-10)},$ °C	$t_{\max(91-10)},$ °C	ΔI	ΔII	ΔIII
14002	28.45	29.33	30	30.05	0.88	1.54	1.6
14011	30.09	30.4	30.62	30.78	0.31	0.53	0.69
14018	29.76	29.88	30.58	30.77	0.12	0.82	1.01
14040	26.21	26.69	26.72	26.77	0.48	0.03	0.56
14044	32.52	32.78	32.98	33.38	0.26	0.46	0.87
14047	26.84	27.49	28.14	28.3	0.65	1.3	1.42
14048	34.26	34.41	34.6	34.7	0.15	0.34	0.44
14052	21.36	22.18	23	23.42	0.82	1.64	2.06
14053	26.37	27.2	27.86	28.36	0.82	1.48	1.99
14070	23.9	24.44	25.23	25.53	0.54	1.32	1.63
14081	31.32	31.62	32.09	32.64	0.31	0.77	1.32
14087	26.53	26.73	26.81	26.89	0.2	0.28	0.36
14093	27.81	27.81	28.46	28.69	0	0.65	0.88

Aquí, ΔI es la oscilación o el cambio de la temperatura máxima promedio anual del período 1971 – 2000 con respecto al período de referencia climática 1961 – 1990,

ΔII es la oscilación de t_{max} entre el período 1981 – 2010 y período de referencia climática, así como ΔIII es la oscilación del promedio anual de t_{max} entre el período 1991 – 2010 y 1961 – 1990.

Analizando los valores de cambio de temperatura máxima en diferentes períodos se observa que este cambio es positivo en todas las estaciones, además su magnitud se incrementa (Cuadro 10): $\Delta I \sim [0.0 - 0.88, ^\circ C]$, $\Delta II \sim [0.28 - 1.64, ^\circ C]$ y $\Delta III \sim [0.36 - 2.06, ^\circ C]$.

A continuación se muestra la distribución espacial de tendencias de la temperatura máxima promedio anual para los períodos climáticamente representativos 1971 – 2000 (Figura. 22), 1981 – 2010 (Figura 23) y 1991 – 2010 (Figura. 24) en comparación con el período de referencia.

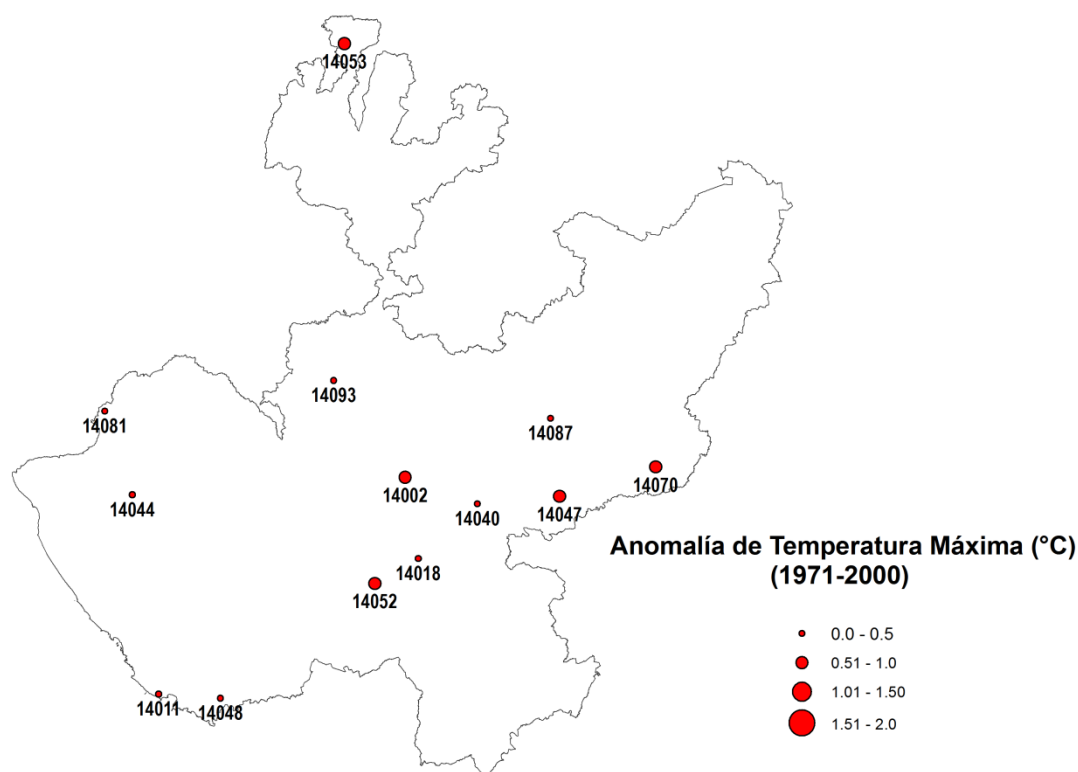


Figura 22. Anomalía de temperatura máxima registrada por las estaciones durante el período climático 1971-2000. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

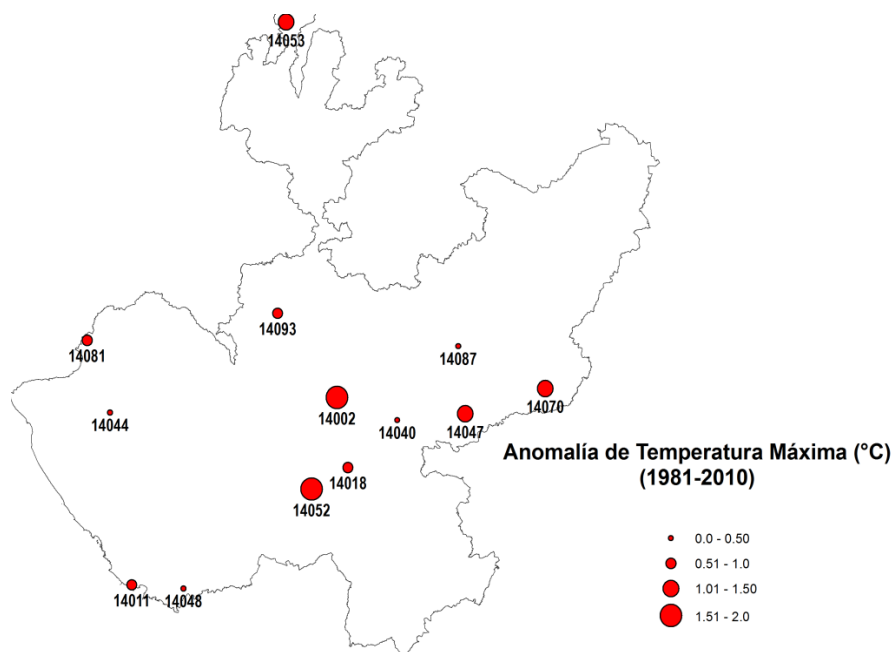


Figura 23. Anomalía de temperatura máxima registrada por las estaciones durante el período climático 1981-2010. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

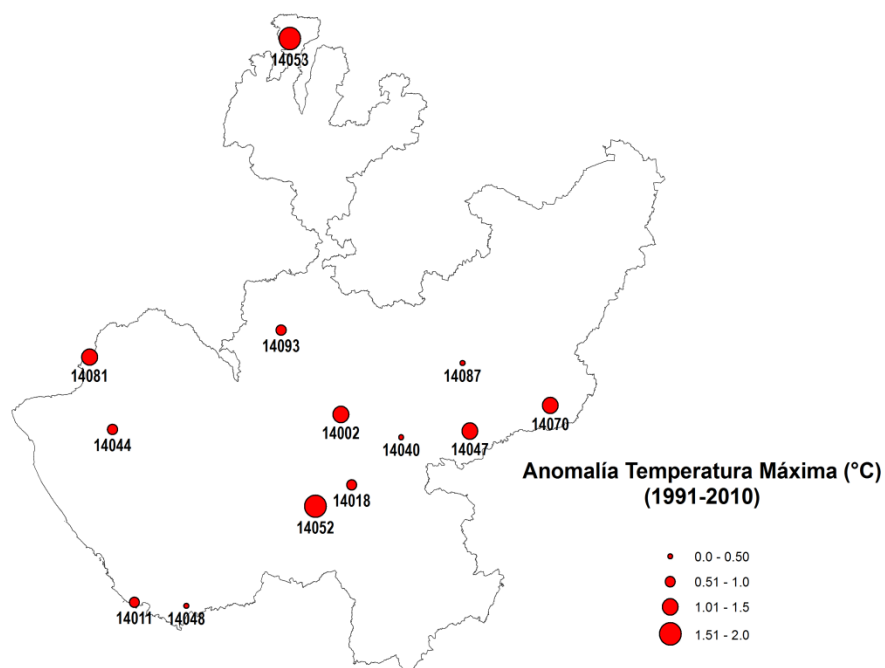


Figura 24. Anomalía de temperatura máxima registrada por las estaciones durante el período climático 1991-2010. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

El mismo comportamiento se registra con la oscilación de la temperatura media promedio anual (Cuadro 11): $\Delta I \sim [0.0 - 0.71, ^\circ\text{C}]$, $\Delta II \sim [0.0 - 1.05, ^\circ\text{C}]$ y $\Delta III \sim [0.13 - 1.60, ^\circ\text{C}]$, mientras la temperatura mínima promedio anual en las estaciones 14047, 14052, 14070 y 14087 muestra tendencia decreciente, ampliando todavía más el rango de oscilación de temperatura en éstas estaciones (Cuadro 12). Éste tipo de comportamiento es característico para climas extremos. Es decir, en éstas localidades se observa no solo calentamiento característico a causas globales, sino también el clima se convierte más extremo, lo cual está relacionado con la presencia del aire más seco o a pérdida de precipitación o a causa de un intenso proceso de deforestación, urbanización y cambio de uso del suelo por actividades agropecuarias.

Cuadro 11. Promedios anuales y oscilación de temperatura media para los períodos climáticamente representativos: 1961 – 1990, 1971 – 2000 y 1981 - 2010

Clave	$t_{\text{med}(61-90)}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{med}(71-00)}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{med}(81-10)}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{med}(91-10)}, ^\circ\text{C}$	ΔI	ΔII	ΔIII
14002	19.57	20.1	20.57	20.62	0.53	1	1.05
14011	24.5	24.73	24.86	25.01	0.23	0.36	0.52
14018	20.79	21.1	21.44	21.79	0.31	0.65	1
14040	20.66	20.96	21.05	21.11	0.3	0.39	0.45
14044	24.75	25.09	25.41	25.69	0.34	0.66	0.94
14047	19.45	19.57	19.87	19.87	0.12	0.42	0.41
14048	24.69	25.11	25.74	25.88	0.42	1.05	1.19
14052	15.13	15.41	15.87	16.05	0.28	0.73	0.92
14053	17.11	17.82	18.37	18.71	0.71	0.55	1.6
14070	17.92	18.11	18.4	18.48	0.19	0.48	0.56
14081	25.53	25.7	25.97	26.24	0.17	0.44	0.71
14087	18.31	18.38	18.38	18.45	0.07	0	0.14
14093	20.28	20.28	20.88	21.05	0	0.59	0.76

A continuación se muestra la distribución espacial de las tendencias de la temperatura media promedio anual para los períodos climáticamente representativos 1971 – 2000 (Figura. 25), 1981 – 2010 (Figura. 26) y 1991 – 2010 (Figura. 27) en comparación con el período de referencia.

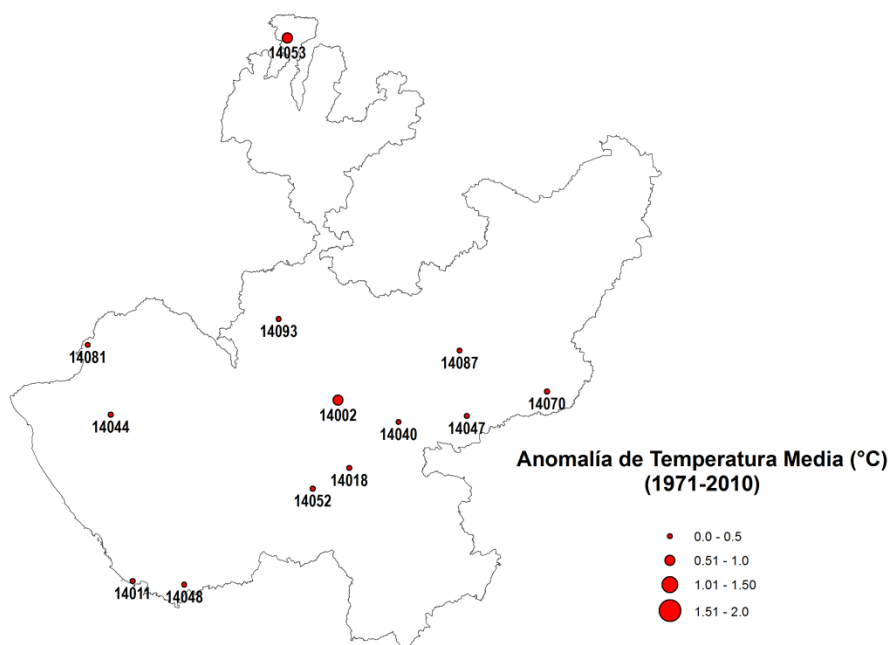


Figura 25. Anomalía de temperatura media registrada por las estaciones durante el período climático 1971-2000. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

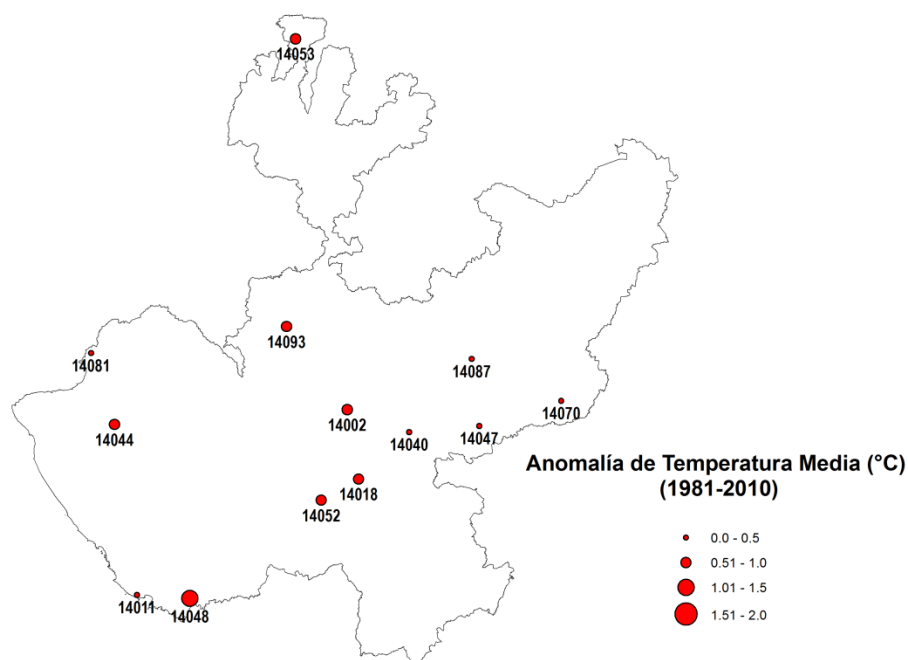


Figura 26. Anomalía de temperatura media registrada por las estaciones durante el período climático 1981-2010. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

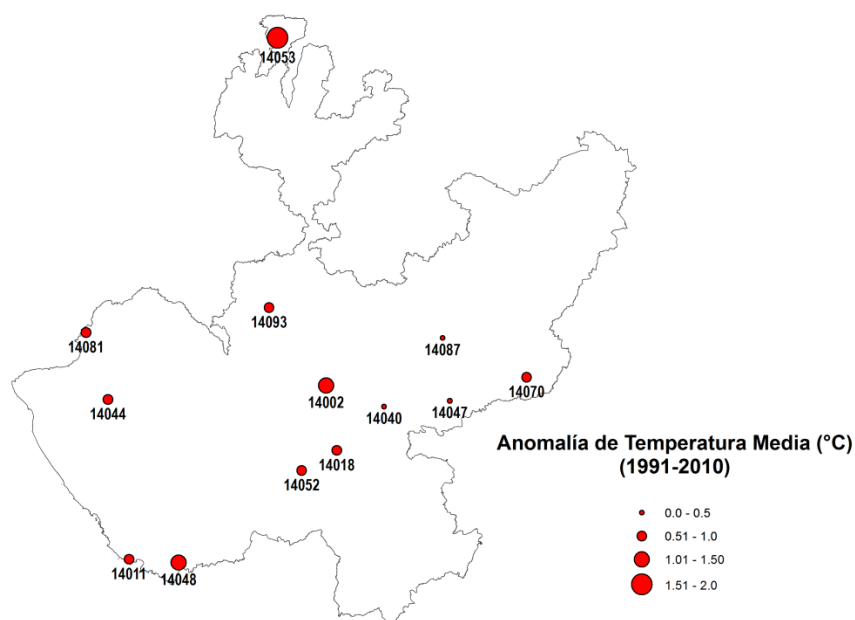


Figura 27 Anomalía de temperatura media registrada por las estaciones durante el período climático 1991-2010. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

Cuadro 12. Promedios anuales y oscilación de temperatura mínima para los períodos climáticamente representativos: 1961 – 1990, 1971 – 2000 y 1981 – 2010

Clave	$t_{\min(61-90)}, ^\circ\text{C}$	$t_{\min(71-00)}, ^\circ\text{C}$	$t_{\min(81-10)}, ^\circ\text{C}$	$t_{\min(91-10)}, ^\circ\text{C}$	ΔI	ΔII	ΔIII
14002	10.69	10.88	11.13	11.19	0.19	0.44	0.5
14011	18.97	19.09	19.05	19.13	0.12	0.08	0.16
14018	11.82	12.41	12.46	12.85	0.59	0.64	1.03
14040	15.05	15.22	15.39	15.48	0.17	0.34	0.43
14044	17.17	17.53	17.97	18	0.37	0.81	0.83
14047	12.1	11.73	11.66	11.54	-0.37	-0.44	-0.56
14048	15.11	15.8	16.88	17.07	0.7	1.77	1.95
14052	9.06	8.75	8.5	8.5	-0.31	-0.52	-0.57
14053	7.89	8.37	8.84	9.06	0.48	0.95	1.17
14070	11.94	11.78	11.57	11.43	-0.16	-0.37	-0.5
14081	19.75	19.77	19.82	19.84	0.02	0.07	0.09
14087	10.1	10.02	9.95	10.01	-0.08	-0.14	-0.09
14093	13.25	13.3	13.4	13.56	0.05	0.15	0.32

A continuación se muestra la distribución espacial de las tendencias de la temperatura mínima promedio anual para los períodos climáticamente representativos 1971 – 2000 (Figura. 28), 1981 – 2010 (Figura. 29) y 1991 – 2010 (Figura. 30) en comparación con el período de referencia.

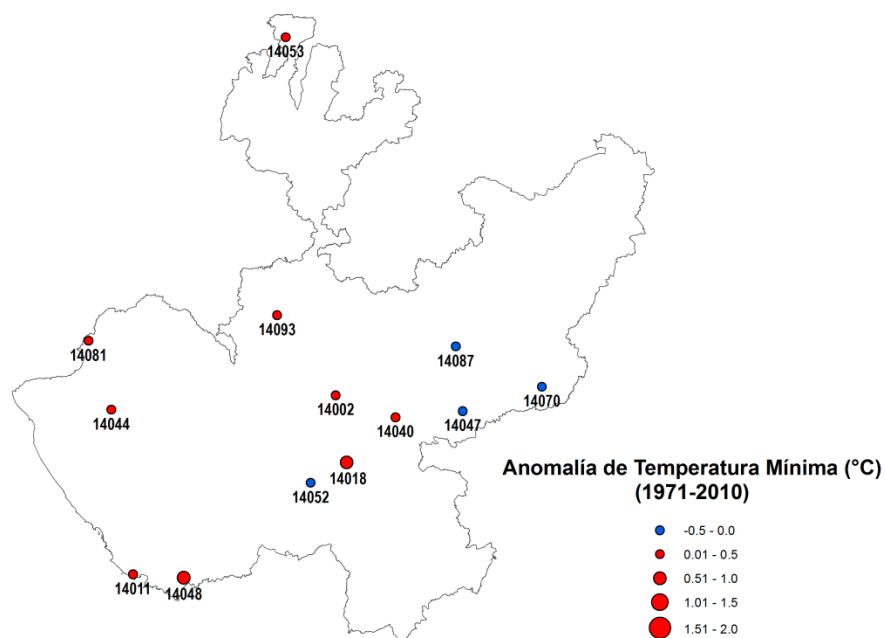


Figura 28. Anomalía de temperatura mínima registrada por las estaciones durante el período climático 1971-2010. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

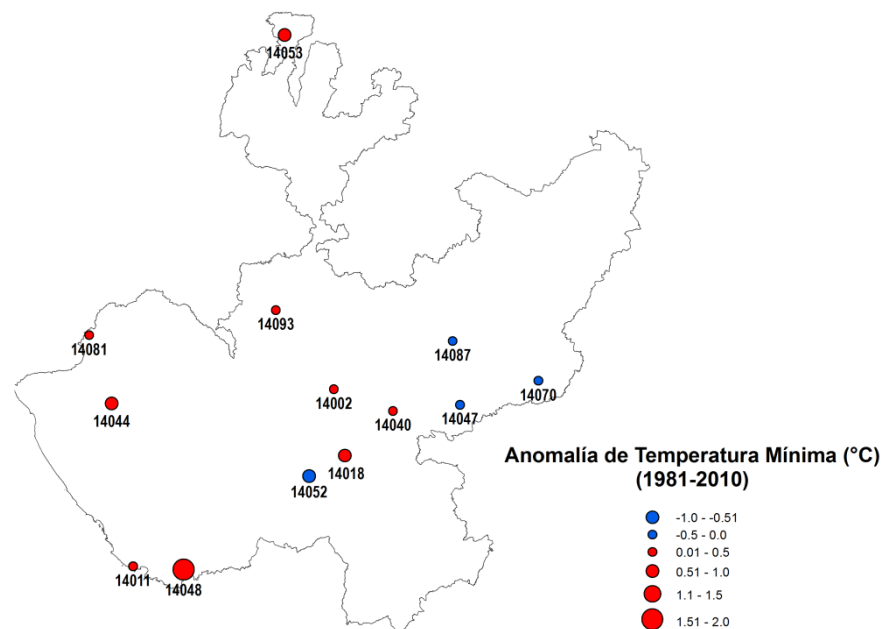


Figura 29. Anomalía de temperatura mínima registrada por las estaciones durante el período climático 1981-2010. Fuente: Elaboración propia con datos de SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

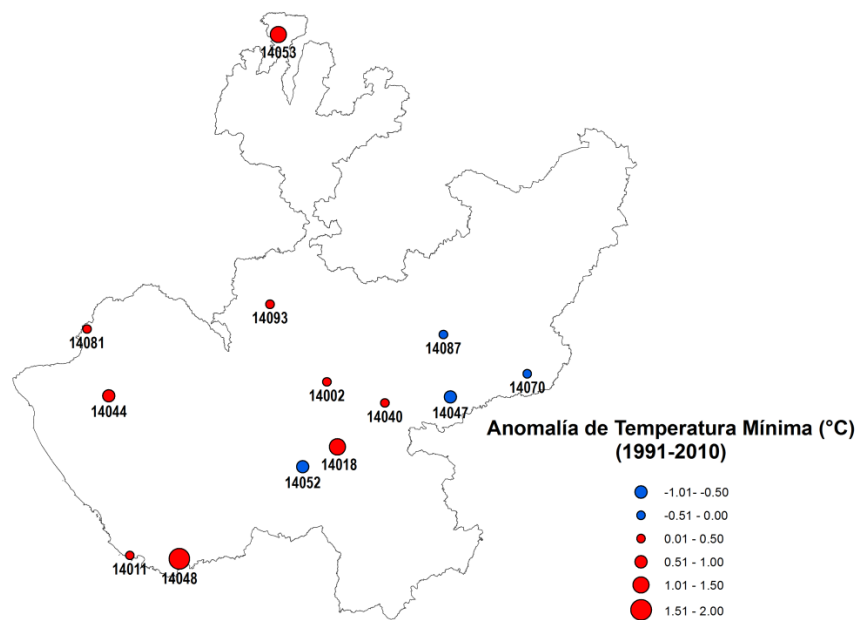


Figura 30. Anomalía de temperatura media registrada por las estaciones durante el período climático 1991-2010. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

10.4 Análisis de Tendencias de los Índices de Cambio Climático

En este apartado se describen las condiciones de temperatura que manifiestan las estaciones meteorológicas empleadas, especialmente de las temperaturas máximas extremas y mínimas extremas, cuya tendencia sea al incremento de temperaturas que condicionan la presencia de días cálidos y noches cálidas como efecto del cambio climático de esta región del occidente de la República Mexicana. Estas condiciones se encuentran representadas por los índices del ETCCDI como lo muestra el cuadro 13.

Cuadro 13. Índices de cambio climático del ETCCDI calculados con series no homogeneizados. Fuente: Elaboración propia con datos de (Zhang y Yang, 2004)

Elemento	Índice	Nombre	Definición	Unidades
Tx	TXx	Max Tmax	Valor máximo mensual de la temperatura máxima diaria	°C
Tn	TNx	Max Tmin	Valor máximo mensual de la temperatura mínima diaria	°C
Tx	TXn	Min Tmax	Valor mínimo mensual de la temperatura máxima diaria	°C
Tn	TNn	Min Tmin	Valor mínimo mensual de la temperatura mínima diaria	°C
Tn	TN10P	Noches frías	Porcentaje de días cuando TN < percentil 10	Días
Tx	TX10P	Días frescos	Porcentaje de días cuando TX < percentil 10	Días
Tn	TN90P	Noches cálidas	Porcentaje de días cuando TN > percentil 90	Días
Tx	TX90P	Días calurosos	Porcentaje de días cuando TX > percentil 90	Días
Tx	WSDI	Duración de los períodos cálidos	Recuento anual de días con por lo menos 6 días consecutivos cuando TX < percentil 90	Días

Las tendencias son el componente más simple de cambio climático y proporcionan información sobre la primera orden de los cambios sobre el dominio de tiempo considerado (WMO, 2009).

La estimación de las tendencias se almacena en un archivo separado por comas que incluye el año inicial y año final de la serie analizada, el índice, la pendiente, desviación estándar y valor p.

Para determinar las pendientes de las tendencias se utilizó el método de mínimos cuadrados y para encontrar el decremento o incremento de la tendencia se tomó a α como el nivel de significación a 0.05 (95%).

El p-valor informa sobre cuál sería el nivel de significancia α más pequeño que hubiera permitido rechazar la hipótesis nula. Se rechaza la hipótesis nula si el p-valor $\leq \alpha$, en este caso 0.05 (Satyamurty *et al.*, 2010).

La interpretación de la prueba de hipótesis es la siguiente:

$$H_0: p \geq 0.05 \text{ (Tendencia significativa)}$$

$$H_a: p \leq 0.05 \text{ (Tendencia no significativa)}$$

Las tendencias de estos índices para el estado de Jalisco obtenidas en el presente estudio se muestran en el cuadro 14.

Cuadro 14. Tendencias de los índices de cambio climático

Clave	TXx	TNx	TXn	TNn	TN10p	TX10p	TN90p	TX90p	WSDI
14002	▲	▲	▲	▼	▲	▲	▼	▲	▲
14011	▲	▲	▼	▼	▲	▲	▲	▲	▲
14018	▲	▼	▼	▲	—	—	—	—	—
14040	▲	▲	▼	▲	▼	▼	▲	▲	▲
14044	▲	▲	▼	▲	—	—	—	—	—
14047	▲	▼	▲	▼	—	—	—	—	—
14048	▲	▲	▼	▼	—	—	—	—	—
14052	▼	▲	▲	▼	—	—	—	—	—
14053	▲	▼	▲	▼	▲	▼	▼	▼	▲
14070	▼	▼	▼	▲	▼	▲	▲	▼	▼
14081	▲	▲	▼	▲	▼	▼	▼	▲	▲
14087	▼	▲	▼	▲	▼	▼	▼	—	▲
14093	▲	▼	▼	▼	▲	▲	▲	▲	▼
▲ Positiva significativa ▲ Positiva no significativa ▼ Negativa significativa ▼ Negativa no significativa — No disponible									

Se aprecia en el Cuadro 14 que el 38% de las estaciones muestran un incremento en el valor máximo de la temperatura máxima diaria (TXx); el 76% muestra incrementos de ésta temperatura pero solamente el 38% son significativos; mientras que el 24% de las estaciones muestra una disminución de los valores máximos de la temperatura máxima diaria, pero no son significativos.

Como en la forma anterior, se describe el valor máximo mensual de la temperatura mínima diaria (TNx), siendo significativa solo en el 15% de las estaciones. El valor

mínimo mensual de la temperatura máxima diaria (Txn) presenta un aumento en el 62% de las estaciones, mostrando tendencias significativas solo el 15%. Además, otro 15% presenta una disminución significativa de este valor. En cuanto al valor mínimo mensual de la temperatura mínima diaria (TNn), el 56% de las estaciones muestra una disminución de este valor siendo significativa únicamente en el 23%, y el aumento del mismo solamente es significativo en el 15% restante. En resumen encontramos que en las partes altas del Estado y en la región Centro la tendencia de los índices es al incremento de las temperaturas máximas; cada vez serán más extremosos, con inviernos más crudos y veranos más cálidos en donde se incrementarán los periodos cálidos (WSDI).

Extremos cálidos

En el cuadro 15 se muestra numéricamente lo que se simboliza en el Cuadro 14. El valor máximo de la temperatura máxima diaria (TXx) muestra que el 31% de las estaciones (14040, 14047, 14048 y 14093) muestra un incremento significativo promedio de 1.5°C por década. La estación 14070 presenta un decremento significativo de -1.46 ° C por década. Respecto al valor máximo mensual de la temperatura mínima diaria (TNx), el 23% de las estaciones (14002, 14018 y 14044) presentan un aumento de casi 1.5°C en promedio en los valores de este índice mientras que la estación 14047, presenta una disminución de casi 2°C por década.

Además se observa que los días calurosos y noches cálidas presentan un incremento en la mayoría de las estaciones, llegando a los resultados siguientes: En cuanto a los días calurosos (TX90p), el 54% de las estaciones presentan aumentos significativos; destacando las estaciones 14002 (12 días por década), 14040 (12 días por década) y 14053 (27 días por década). Para el índice TN90p, el 54% de las estaciones presentan un incremento significativo de noches cálidas, el mayor aumento se observa en las estaciones 14002 (5 días por década), 14011

(5 días por década), 14070 (9 días por década) y 14093 (9 días por década). El aumento en los periodos cálidos (WSDI) es notorio con un del 46% de las estaciones (14002, 14011, 14040 y 14053). Los mayores incrementos los muestran las estaciones de Acatlán con 22 días por década y El Pinito con el más significativo de 57 días por década. Sin embargo, una disminución importante de estos se puede observar en la estación 14070 con 13 días por década.

Cuadro 15. Estaciones meteorológicas y sus extremos de temperatura máxima.

Clave	TXx	TNx	TX90P	TN90P	WSDI
14002	0.073	1.095	11.899	5.183	22.0825
14011	0.1095	0.219	4.2705	5.329	10.3295
14018	0.803	1.2045	—	—	—
14040	1.314	0.146	11.9355	2.701	17.5565
14044	-0.438	1.7155	—	—	—
14047	1.825	-1.9345	—	—	—
14048	1.387	0.7665	—	—	—
14052	-0.146	0.3285	—	—	—
14053	0.4015	-0.146	27.156	3.1755	56.9765
14070	-1.46	-0.146	-6.351	8.541	-13.3225
14081	0.365	0.438	4.891	0.949	4.5625
14087	0.0365	0.146	6.8255	1.752	3.0295
14093	1.2775	-0.803	1.8615	8.614	-1.7155

Se muestra gráficamente la distribución y tendencia para cada uno de los índices de cambio climático que se muestran en el Cuadro 14 en las figuras 31, 32, 33, 34 y 35:

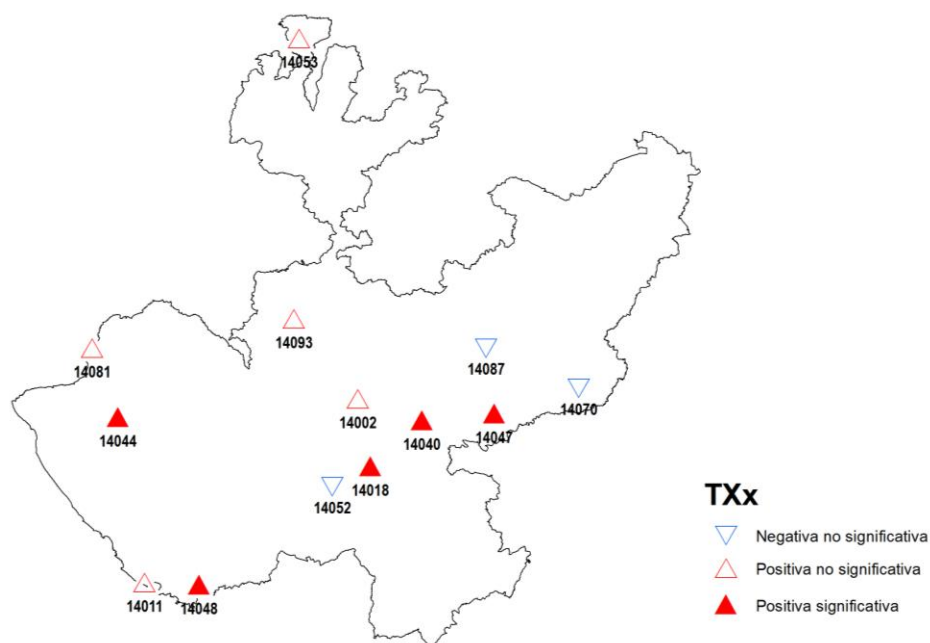


Figura 31. Distribución espacial de las tendencias del índice denominado valor máximo mensual de la temperatura máxima diaria (TXx) en el estado de Jalisco Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

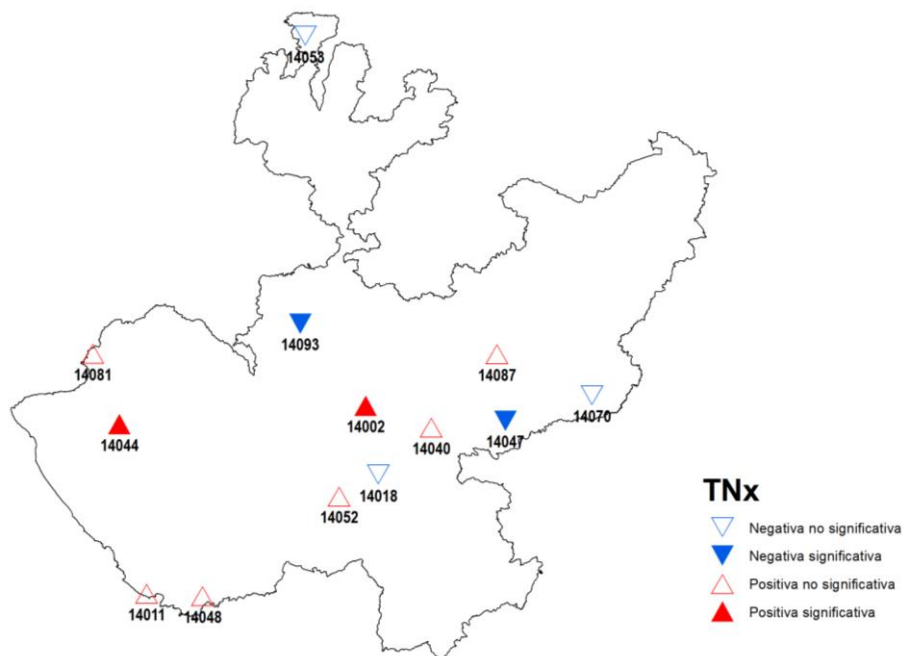


Figura 32. Distribución espacial de las tendencias del índice denominado valor máximo mensual de la temperatura mínima diaria (TNx) en el estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014)

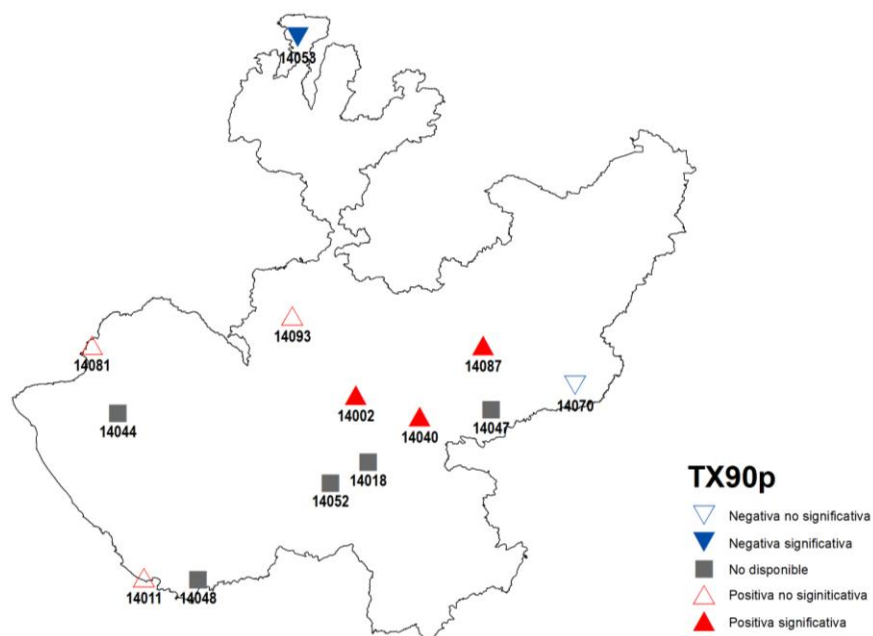


Figura 33. Distribución espacial de las tendencias del índice denominado porcentaje de días cuando TX > percentil 90 (Tx90p) en el estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

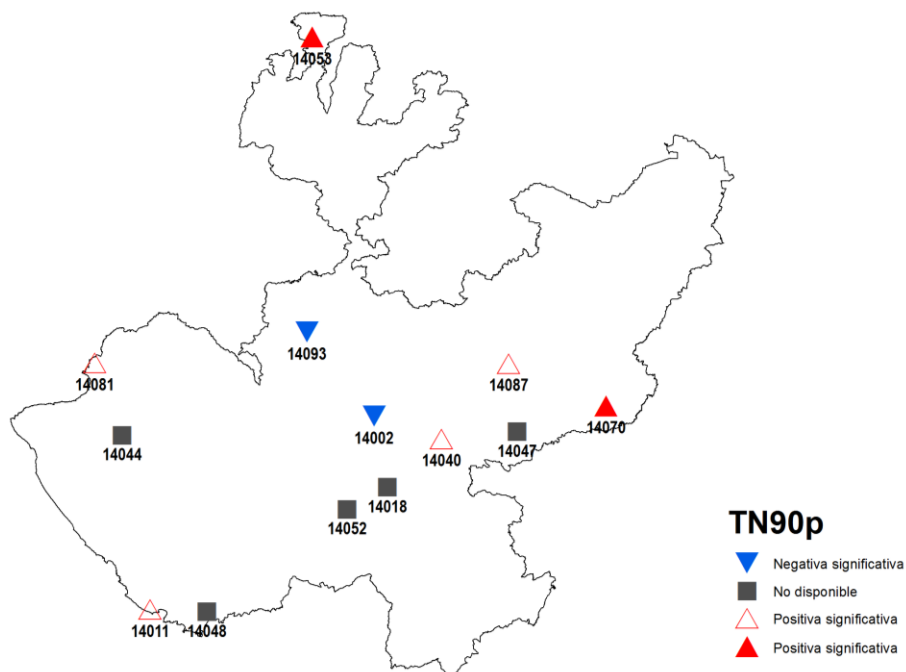


Figura 34. Distribución espacial de las tendencias del índice denominado Porcentaje de días cuando TN > percentil 90 (TN90p) en el estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

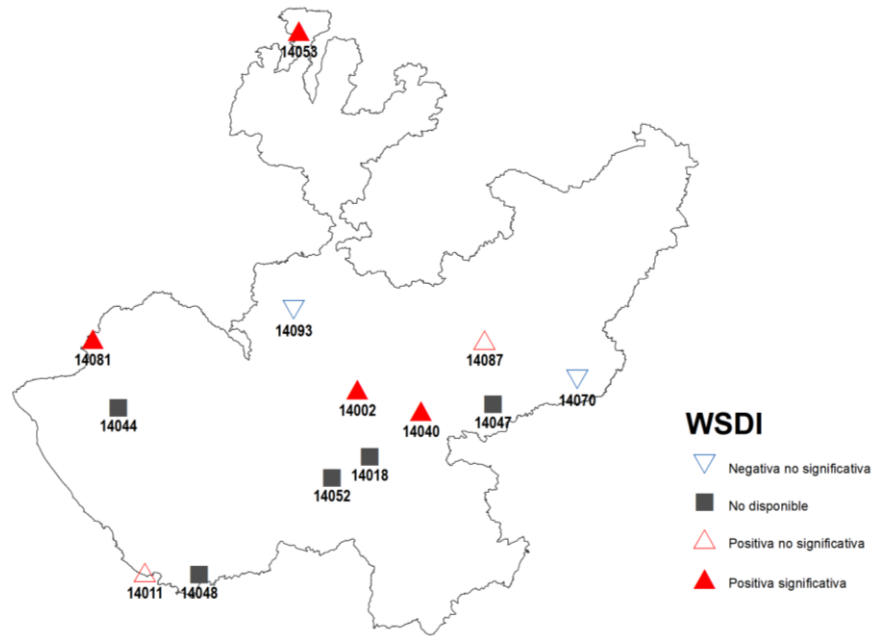


Figura 35. Distribución espacial de las tendencias del índice denominado Recuento anual de días con por lo menos 6 días consecutivos cuando $T_x < \text{percentil } 90$ (WSDI) en el estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

Extremos fríos

De igual forma que con los extremos cálidos, en el Cuadro 16 se representa de manera numérica lo simbolizado en el Cuadro 14; se incrementarán las temperaturas máximas más bajas (TXn) en forma significativa en el 23%% de las estaciones meteorológicas, afectando la porción central del estado siendo notorio en las estaciones Acatlán con 1.46°C por década y El Fuerte 4.0°C y la zona norte de Jalisco con El Pinito 2.7°C. En la zona costera la estación La Desembocada también muestra un incremento aunque poco significativo.

La temperatura mínima mínima (TNn) 31% de las estaciones (14002, 14047, 14052 y 14053) presenta una disminución significativa con los valores cercanos a los 2°C. Es decir, se observa menos noches con temperaturas extremadamente bajas. En sumo es importante destacar que un aumento de alrededor de 3°C se observa en la estación 14070.

Cuadro 16. Estaciones meteorológicas y sus extremos de temperatura mínima.

Clave	TXn	TNn	TX10P	TN10P
14002	1.46	-2.482	-8.5775	5.183
14011	0.219	-0.3285	4.453	5.329
14018	-0.073	0.5475	—	—
14040	-0.9125	0.7665	-6.862	-0.292
14044	0.4015	0.6205	—	—
14047	4.088	-1.387	—	—
14048	-0.292	-0.6205	—	—
14052	0.1095	-2.5915	—	—
14053	2.7375	-1.9345	-9.125	2.044
14070	0.438	2.9565	9.5995	-6.8985
14081	0.584	1.2045	-0.365	-1.168
14087	0.6935	0.146	-2.044	-3.5405
14093	0.511	-0.438	5.7305	8.614

Para los días frescos y las noches frías se muestra el siguiente comportamiento: el 23% de las estaciones (14011, 14070 y 14093) muestra un incremento en el número de días frescos (TX10p), con un aumento de alrededor de 4, 10 y 6 días por década, respectivamente. No obstante, un 31% (14002, 14040, 14053 y 14087) presenta una disminución con 9, 7, 9 y 2 días de pérdida por década respectivamente.

La tendencia y distribución de los índices extremos fríos se explica en las figuras 36, 37, 38 y 39; en estas figuras se tienen días más frescos y noches más frías, lo que implica que las regiones Centro y Sierras serán más extremas durante el año, siendo en invierno más frescos y en verano más cálidos. En las regiones citadas se observa un incremento de temperaturas máximas mínimas, por lo que en el verano se esperará un mayor número de olas de calor y/o sus eventos más prolongados.

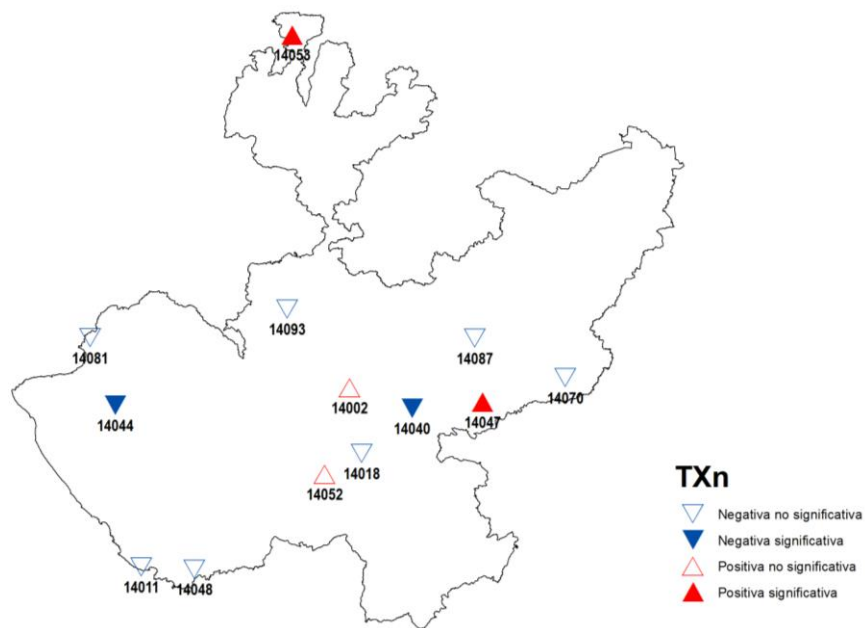


Figura 36. Distribución espacial de la tendencia del índice denominado valor mínimo mensual de la temperatura máxima diaria (TXn) en el estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya INEGI, 2013; 2014).

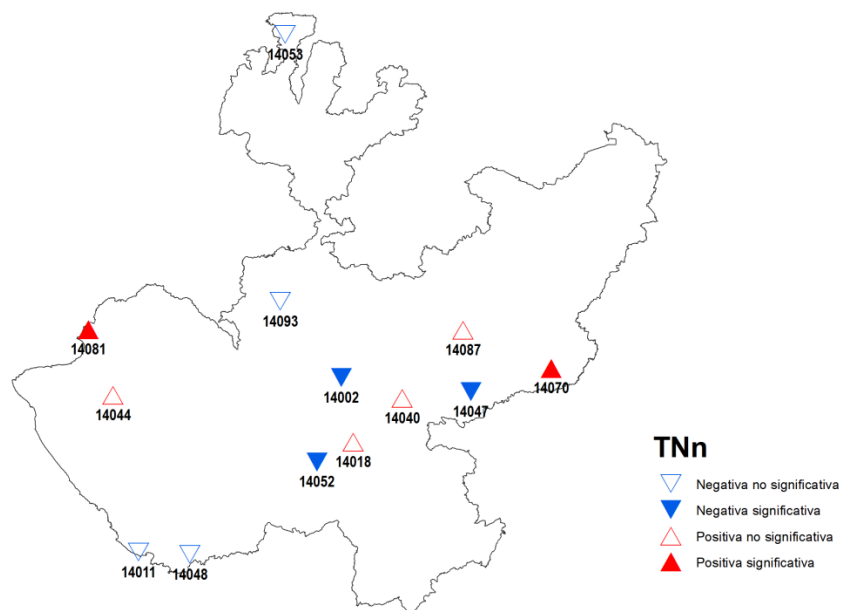


Figura 37. Distribución espacial de las tendencias del índice denominado valor mínimo mensual de la temperatura mínima diaria (TNn en el estado de Jalisco). Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

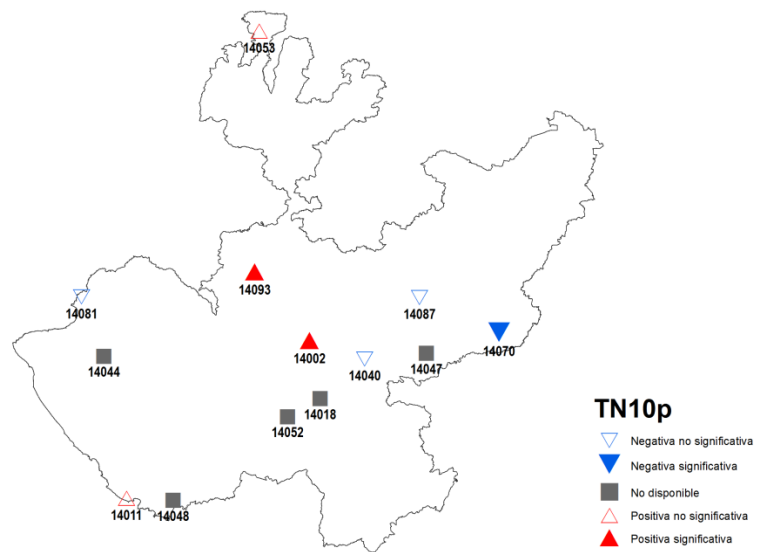


Figura 38. Distribución espacial de las tendencias del índice denominado porcentaje de días cuando $TN < \text{percentil } 10$ (Tn10p) en el estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

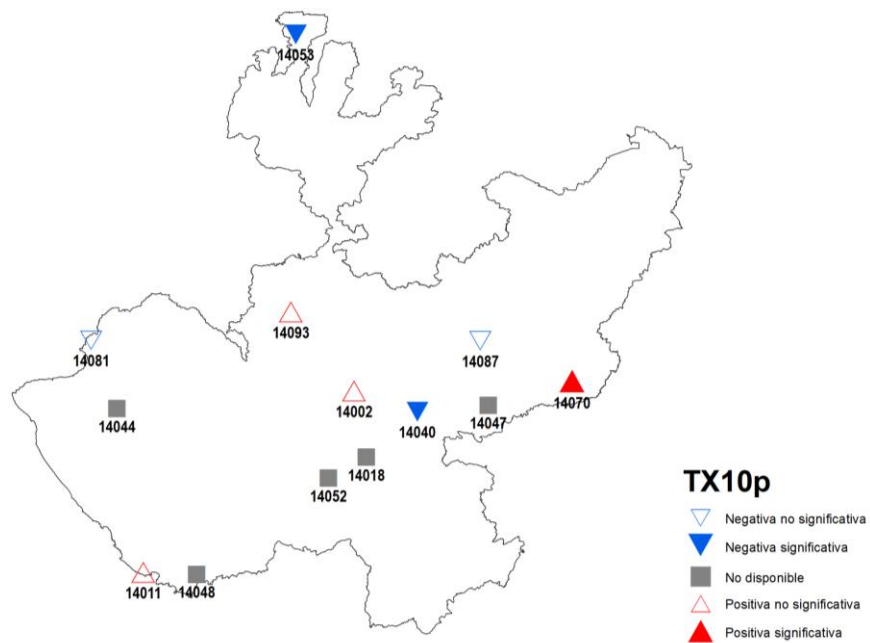


Figura 39. Distribución espacial de las tendencias del índice TX10p en el estado de Jalisco. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

11. DISCUSIÓN

11.1 Acerca del control de calidad

Las 13 estaciones utilizadas en el estudio presentan un porcentaje inferior al 1% de datos sospechosos, por lo que se puede considerar que son series de tiempo confiables. Aun así, se pudieron corregir aproximadamente el 60% de los datos gracias a los procesos de coherencia espacial y temporal. Estos se pudieron corregir debido a que las series de datos de la temperatura tienen tendencias similares a sus vecinas.

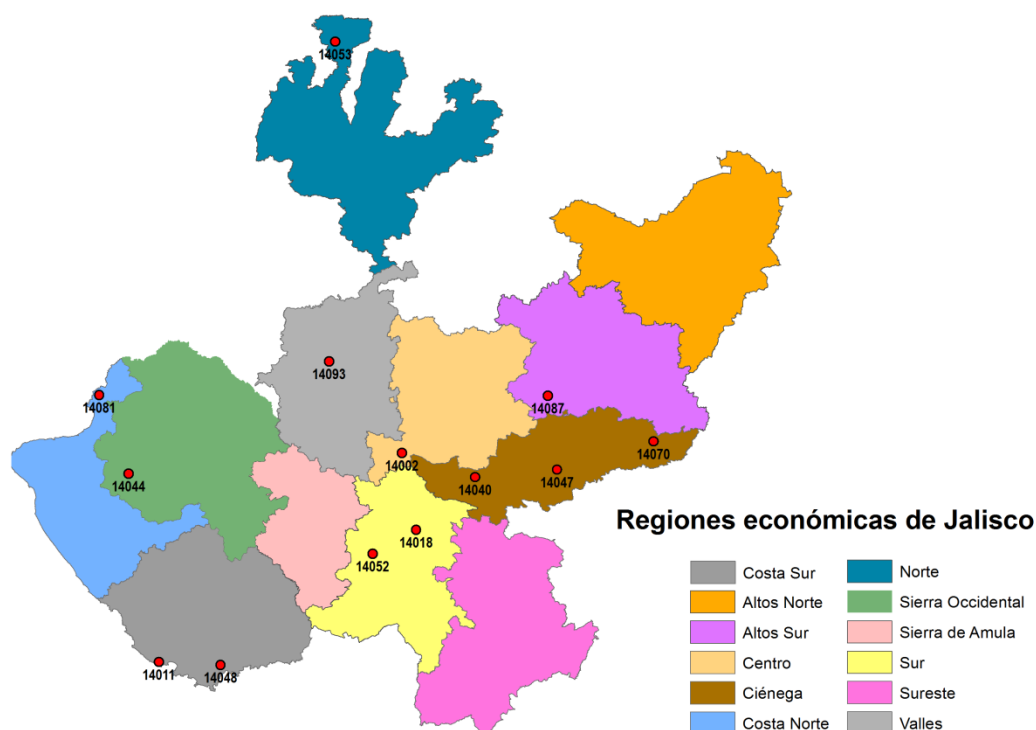


Figura 40. Regiones económicas del estado de Jalisco. Fuente: elaboración propia con datos de COPLADE, 1998; SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013).

Estas estaciones se localizan en nueve de las 12 regiones económicas (como se muestra en la figura 40), según su condición climática y relieve preponderante: Norte (14053), Altos Sur con dos estaciones (14070 y 14087), Centro (14002), Ciénega (14040, 14047), Valles (14093), Sierra M. Occidental (14044), Costa Norte (14081), Costa Sur (14011, 1448) y Sur (14018, 14052).

La cobertura del Estado es parcial debido a que varias de las estaciones meteorológicas que cubren el estado de Jalisco, presentan datos incompletos, lo que obliga a una depuración exhaustiva; con el fin de cubrir regiones como la Norte o Región de los Cañones (Río Bolaños, Río Juchipila), Altos Norte, Sierra Madre Occidental y Sierra de Amula, así como Sur de Jalisco.

La zona Norte de Jalisco, se caracteriza por ser la región de los cañones, ya que esta porción del Estado es atravesada en sentido Norte-Sur, por los cañones de los ríos Bolaños, Juchipila y Huaynamota, cuyos cauces alcanzan 1000, 1200 y 700 m de altitud respectivamente, mientras que las mesetas y planicies alcanzan de los 1700 m en Colotlán hasta los 2000 m en San Andrés Cohamiata. Esta condición afecta al clima regional, ya que las variaciones de altura son significativas y afectan la circulación de las masas de aire en la región, afectando igualmente las temperaturas. En los cañones el clima corresponde al grupo A y en las planicies al grupo C.

La región Altos Sur constituye las amplias terrazas que conectan con el altiplano mexicano, variando gradualmente la altitud de 1550 m en Zapotlanejo hasta los 1900 m en Lagos de Moreno; siendo en Ojuelos región del Altiplano Mexicano con 2300 m. Pertenecen al clima C de la clasificación de Köppen.

La región Centro de Jalisco se caracteriza por extensiones de regular tamaño ligeramente onduladas con alturas entre 1500 m para el valle de Toluquilla y 1650 m en el valle de Tesistán-Atemajac; cubre también los valles de Tlajomulco e Ixtlahuacán de Los Membrillos. El clima de esta zona corresponde al grupo C.

La Región Valles abarca los valles de mayor extensión en el Estado, como el de Ameca, Magdalena, Tala, Cocula entre otros, cuyo rango de altura oscila entre los 1200 y 1300 m; el clima tipo corresponde al grupo C.

La región Ciénega, corresponde a la porción Centro-Este del Estado, geomorfológicamente se caracteriza como un valle extenso rodeado por alineamientos volcánicos y pequeñas serranías, sobresaliendo al Norte las terrazas de los Altos de Jalisco que inician en el piedemonte de Atotonilco El Alto y al Sur el graven de Chapala; el clima tipo pertenece al grupo C.

La Región Sierra Madre Occidental, se caracteriza por grandes montañas alineadas, producto del tectonismo y vulcanismo, que dividen la vertiente del Pacífico de las regiones Centro y Valles, la altura presenta un rango entre los 1600 metros en Talpa de Allende y los 2400 m en San Sebastián del Oeste; los tipos climáticos son los más frescos del grupo C.

En la región Costa Norte las estaciones meteorológicas representan los climas que se encuentran en la planicie costera en la que la influencia oceánica es significativa; esta zona abarca desde el río Ameca en bahía de Banderas, cuya vegetación nativa es de selva baja caducifolia y subcaducifolia; hasta las estribaciones de El Tuito, donde cambia radicalmente el tipo de vegetación de selva a bosque de encino-pino. Estas estaciones corresponden al grupo A de la clasificación de Köppen.

La región Costa Sur es continuación de la costa Norte y cubre desde Tomatlán hasta Melaque, donde la vegetación dominante es de selva baja caducifolia y en la zona de Tomatlán-José María Morelos la vegetación tipo corresponde a matorral espinoso, por lo que la influencia oceánica es de poca significancia. El clima tipo corresponde al grupo A.

El Sur de Jalisco región que comprende los valles intramontanos de Tapalpa, Tonila, Zapotiltic y Tuxpan y las cuencas endorreicas de Zacoalco-Sayula-Zapotlán El Grande, por lo que la diversidad de los tipos climáticos es notoria, perteneciendo al grupo climático B los pisos del lago Zacoalco-Sayula, del grupo C los valles y vertientes de las cuencas citadas y del grupo E, la cumbre del Nevado de Colima.

11.2 Coherencia espacial

De las 13 estaciones meteorológicas empleadas, todas presentan datos sospechosos, lo que significa que éstos son extremos, erróneos por digitación, etcétera, una vez revisados y comparados con estaciones vecinas y sus propios archivos resultando conforme al Cuadro 7 que en promedio 58 datos de las estaciones son sospechosos y requieren de ajuste, presentando un rango de 16 a 122 datos sospechosos según la estación meteorológica de que se trate. El 60% de los datos fueron corregidos, el 20% no requirieron corrección y el 20% restante, resultaron no disponibles porque faltan series de datos vecinas o simplemente hay un aislamiento por falta de datos entre ellas; por ello se estima que las estaciones elegidas son confiables y se continúa con el cálculo.

11.3 Homogeneización de series de temperatura

Las ecuaciones de regresión ajustadas, incrementan el valor del coeficiente de determinación, siendo más exactas las estimaciones de temperatura máxima o media, que con las ecuaciones de regresión sin ajuste. De las 13 ecuaciones generadas para cada una de las estaciones meteorológicas representativas del Estado, aproximadamente el 50% tienen un coeficiente de determinación mayor al 60% hasta un máximo del 84%.

La razón de este comportamiento es debido a que la temperatura mínima presenta un comportamiento tanto creciente como decreciente en distintas partes del estado y la temperatura máxima solo tiende a aumentar. Por lo tanto, el coeficiente de determinación es mayor en la temperatura máxima debido a que a menor dispersión de los valores observados mayor es el valor del mismo.

Para incrementar el coeficiente de determinación, se debe realizar un nuevo proceso de recorrido desde el control de calidad hasta obtener nueva

homogeneización de la serie de datos y así incrementar la eficiencia predictiva de las ecuaciones generadas.

11.4 Anomalías de temperatura

Es un comparativo de las series de datos de temperatura máxima, media y mínima anuales del periodo normal inicial o de referencia (1961-1990) respecto de los siguientes periodos empleados en este trabajo hasta el periodo 1991-2010.

La tendencia es el incremento de las temperaturas máximas y medias entre los periodos traslapados, es decir, entre el periodo base 1961-1990 y el siguiente 1971-2000, Siendo un incremento continuo más no constante. Sin embargo, la temperatura mínima presenta un comportamiento interesante ya que las estaciones 14047, 14052, 14070 y 14087 presentan anomalías negativas con valores que oscilan en -0.5°C respecto al periodo de referencia, mostrando mayor impacto del cambio climático ocurrirá en tierras montañosas y en los valles centrales del Estado haciendo más extremo el clima, siendo mínimo en la zona costera

De acuerdo a reconstrucciones de temperatura global, la Tierra ha iniciado un proceso de calentamiento desde el final del siglo XIX, el cual se ha intensificado desde la década de 1970 coincidiendo con los resultados encontrados en este trabajo en el que el calentamiento más intenso se ha producido en el periodo 1971-2000. Aun así, calentamiento continuo más no constante del periodo 1981-2010, como consecuencia de una disminución en la emisión de calor solar a partir del inicio de la década de 2000 con una afectación en las temperaturas globales, presentando sus valores mínimos en los años 2007 y 2009 (OMM, 2012). Esto además coincide con resultados mostrados en el cuadro 17, recientemente publicados por NOAA (2013) donde se muestran los años más calurosos que confirman el aumento global de la temperatura.

Cuadro 17. Los diez años más cálidos a nivel mundial registrados durante el periodo 1886-2013. Fuente: (NOAA, 2013)

Posición	Año	Anomalía °C
1	2010	0.66
2	2005	0.65
3	1998	0.63
4	2013	0.62
4	2003	0.62
6	2002	0.61
7	2006	0.6
8	2009	0.59
8	2007	0.59
10	2004	0.57
10	2012	0.57

Si observamos la tendencia de las temperaturas del Cuadro 11, encontramos que el incremento de temperaturas es mayor en zonas de montaña que en la costa y aunque en todas las estaciones, la tendencia de la temperatura media anual es a la alza, ésta es significativa por ejemplo en la estación meteorológica de Acatlán en la región Centro, cuyos incrementos son casi de un grado Celsius por periodo (0.53, 1.0, 1.05 °C); para la estación El Pinito en la región Norte los incrementos rebasan el grado Celsius (0.71, 0.55, 1.6 °C); finalmente para la estación La Desembocada en la costa de Jalisco, el incremento es menor a 0.5 °C (0.17, 0.44 y 0.71 °C). Estos resultados concuerdan con las tendencias de cambio climático global reportadas en el Cuarto Reporte de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático con un aumento de 0.74°C por década (IPCC, 2007).

11.5 Análisis de tendencias del cambio climático (INDICES)

Extremos Cálidos

Las Figuras 31, 32, 33, 34 y 35 muestran las tendencias de los índices del cambio climático y en resumen se observa que las zonas de mayor impacto al incremento

de temperaturas son las regiones Centro y Norte de Jalisco, en las que se incrementarán los periodos cálidos (WSDI) y las temperaturas máximas diarias

Cuadro 18. Regiones económicas de Jalisco y la tendencia de los índices de extremos cálidos.

Región	Estación	TXx	TNx	TX90P	TN90P	WSDI
Norte	14053	0.4015	-0.146	27.156	3.1755	56.9765
Altos Sur	14070	-1.46	-0.146	-6.351	8.541	-13.3225
	14087	0.0365	0.146	6.8255	1.752	3.0295
Centro	14002	0.073	1.095	11.899	5.183	22.0825
Ciénega	14040	1.314	0.146	11.9355	2.701	17.5565
	14047	1.825	1.9345	—	—	—
Valles	14093	1.2775	-0.803	1.8615	8.614	-1.7155
Sierra Occidental	14044	-0.438	1.7155	—	—	—
Costa Norte	14081	0.365	0.438	4.891	0.949	4.5625
Costa Sur	14011	0.1095	0.219	4.2705	5.329	10.3295
	14048	1.387	0.7665	—	—	—
Sur	14018	0.803	1.2045	—	—	—
	14052	-0.146	0.3285	—	—	—

En el Cuadro 18 se observa el agrupamiento por regiones de Jalisco, en las que se aprecia que en Valles, Ciénega y Sierras se tendrá un incremento significativo en los periodos cálidos cuyo rango va de 17.55 a 56.97 días de aumento en el periodo cálido; mientras que en la Costa es poco significativo con rango de 4.5 a 10.32 días de aumento en el periodo cálido, mientras que en la región Altos Sur, el incremento del periodo cálido es no significativo ya que la tendencia es a disminuir éste en 13.22 días.

Extremos fríos

Las Figuras 36, 37, 38 y 39 muestran las tendencias de los índices del cambio climático y en resumen se observa que las zonas de mayor impacto al incremento de días frescos y noches frías son las regiones Centro y Norte de Jalisco, en las que se incrementarán las temperaturas máximas mínima (TXn) diarias.

Cuadro 19. Regiones económicas de Jalisco y la tendencia de los índices de extremos fríos.

Región	Estación	TXn	TNn	TX10P	TN10P
Norte	14053	2.7375	-	-9.125	2.044
Altos Sur	14070	0.438	2.9565	9.5995	-6.8985
	14087	0.6935	0.146	-2.044	-3.5405
Centro	14002	1.46	-2.482	-	5.183
Ciénega	14040	0.9125	0.7665	-6.862	-0.292
	14047	4.088	-1.387	—	—
Valles	14093	0.511	-0.438	5.7305	8.614
Sierra Occidental	14044	0.4015	0.6205	—	—
Costa Norte	14081	0.584	1.2045	-0.365	-1.168
Costa Sur	14011	0.219	-	4.453	5.329
	14048	-0.292	0.6205	—	—
Sur	14018	-0.073	0.5475	—	—
	14052	0.1095	-	—	—

En el Cuadro 19 se observa el agrupamiento por regiones de Jalisco, en todas ellas se tendrá un incremento significativo de la temperatura máxima mínima (TXn) en un rango de 0.40 a 2.73 °C por década; igualmente en estas regiones, la temperatura mínima extrema (TNn) se incrementará en un rango de 0.54 a 2.95 °C por década, siendo significativos estos. En el caso de días frescos (TX10P) y noches frías (TN10P), encontramos que en la región Costa hay incremento de días frescos (5.32 días) mientras que en el resto de las regiones se manifiesta un decremento de días frescos en un rango de -0.36 a -9.125 días. Para las noches frías en general se aprecia un decremento, esto es, habrá más noches cálidas,

con excepción de la Región Sierra no encontramos resultados definitivos ya que solo una estación es representativa de la región (El Pinito), en donde se incrementan significativamente las noches frías en cada década.

En síntesis podemos notar una relación entre la altitud y la tendencia de la temperatura, la cual en general muestra que esta relación es negativa con los extremos fríos y positiva con los extremos cálidos. Aun así, existen excepciones como el caso de la estación El Pinito que muestra tendencia a aumentar las noches frías. Mostrando que esta relación no es muy clara. Esta dependencia altitudinal ha sido reportada globalmente por varios estudios (Seidel y Free, 2003; Pepin y Lundquist, 2008; Wang *et al.*, 2013) llegando a conclusiones similares.

Muchos de los resultados, como la dependencia altitudinal mencionada anteriormente y la tendencia a ampliarse la amplitud entre los extremos de temperaturas máxima y mínima coinciden con los resultados globales publicados por Alexander *et al.* (2006) y otros estudios regionales en diversas partes del mundo (Kioutsioukis *et al.*, 2010; Kruger y Sekele, 2013; Wang *et al.*, 2013) confirmando esta tendencia de cambios en los extremos climáticos debido al calentamiento durante los últimos años.

Para hablar y, sobre todo, interpretar los resultados de tendencias reales que se observan en las estaciones se muestran las figuras 41, 42 y 43, en donde se puede visualizar los campos de anomalías de temperatura máxima, media y mínima promedios anuales antes y después del proceso de homogeneización.

En caso de la temperatura máxima se observa la intensificación de la señal de incremento en las temperaturas máximas promedios anuales en todas las estaciones excepto la 14040, en donde la señal ligeramente se disminuye su magnitud (Figura. 41).

En el campo de anomalías de temperatura medio promedio anual se da un cambio más significativo. Las anomalías negativas observadas en las estaciones 14048, 14052, 14093 antes del proceso de homogeneización de las series climatológicas respectivas han cambiado a las anomalías positivas y muy significativas (Fig. 42)

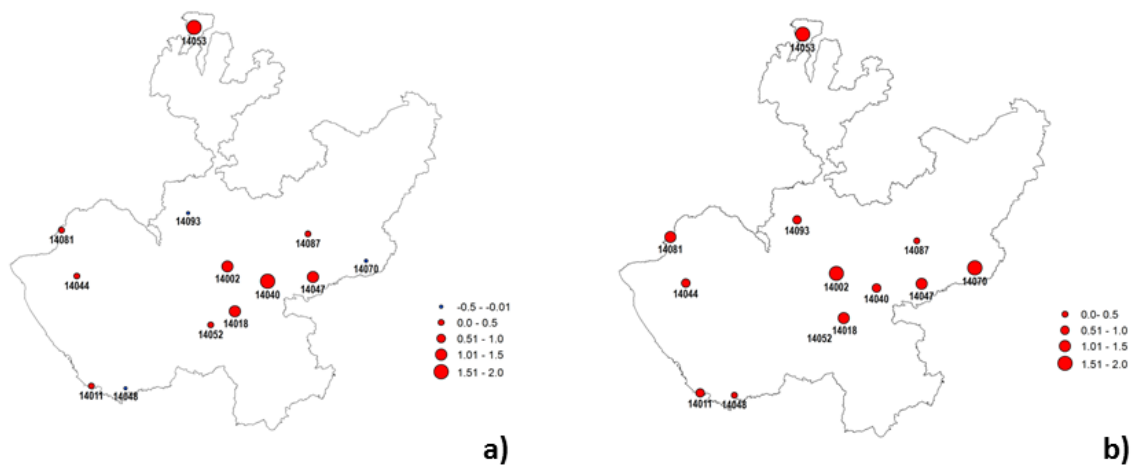


Figura 41. Comparación de anomalías de temperatura máxima para el periodo 1991-2010: a) estaciones no homogeneizadas, b) estaciones homogeneizadas. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

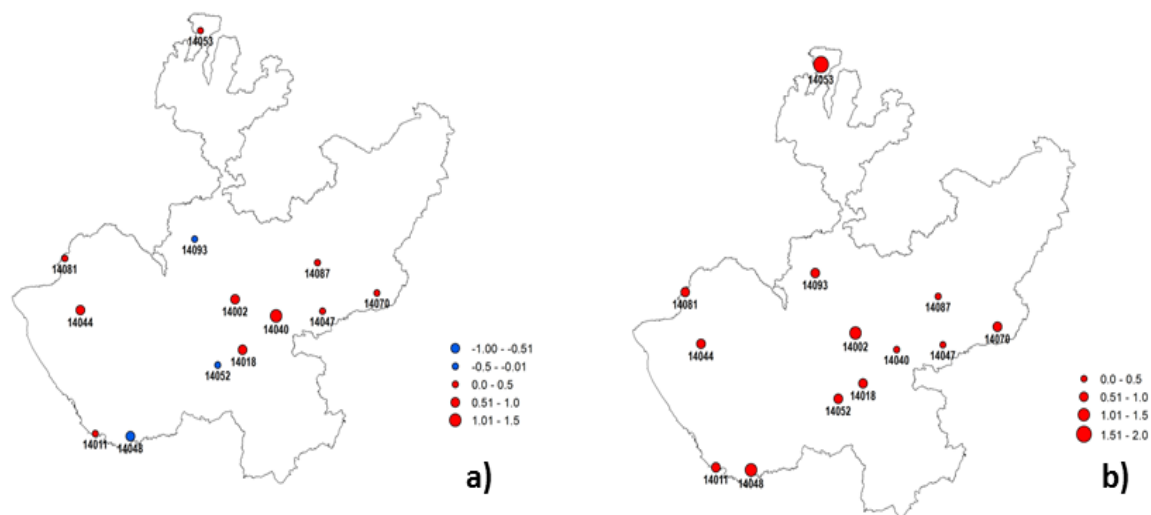


Figura 42. Comparación de anomalías de temperatura media para el periodo 1991-2010: a) estaciones no homogeneizadas, b) estaciones homogeneizadas. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

El caso de modificaciones registradas en la anomalía la temperatura mínima promedio anual es más complejo en comparación con las temperaturas máxima y media promedios anuales (Figura 43).

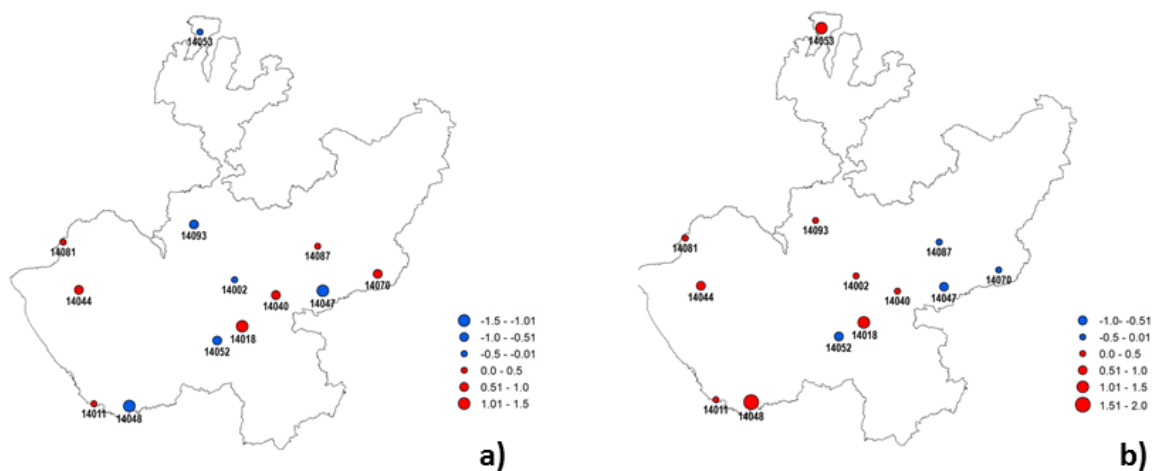


Figura 43. Comparación de anomalías de temperatura mínima para el periodo 1991-2010: a) estaciones no homogeneizadas, b) estaciones homogeneizadas. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2012; Davydova-Belitskaya, 2013; INEGI, 2013; 2014).

Aquí en las estaciones 14002, 14048, 14053, 14070, 14087 y 14093 se observa el cambio de signo de anomalía de negativo a positivo, mientras en las estaciones 14047, 14052 se mantiene la anomalía negativa, aunque de menor intensidad y en la estación 14087 la anomalía positiva cambio a una anomalía negativa, aunque de baja intensidad, de tal manera que estado de Jalisco muestra anomalías negativas de temperatura mínima promedio anual.

Este tipo de comportamiento de temperatura mínima se registra en climas que tienden a ser más secos, y como consecuencia más extremos. Para explicar este fenómeno que se da en la región este de Jalisco se requiere realizar una investigación para verificar posible desertificación de la región, o cambio del régimen de lluvias, particularmente en el invierno. Si no existen las causas físicas que justifiquen este comportamiento de anomalía de temperatura mínima promedio anual es importante verificar los metadatos de la estación y sobre todo la veracidad de registros en éstas.

12. CONCLUSIONES

Entre los resultados más importantes de éste trabajo se puede resaltar:

1. Es el primer trabajo de investigación a escala del estado de Jalisco que realiza un estricto control de calidad de series climatológicas así como su homogeneización, que permitió visualizar las verdaderas tendencias de temperaturas y sus oscilaciones y anomalías en la región de estudio.
2. Se verificó la hipótesis inicial, es decir la variabilidad de la temperatura de las estaciones del estado de Jalisco tiene el mismo comportamiento estadístico que el de las reportadas para el cambio climático global (Fig. 44).

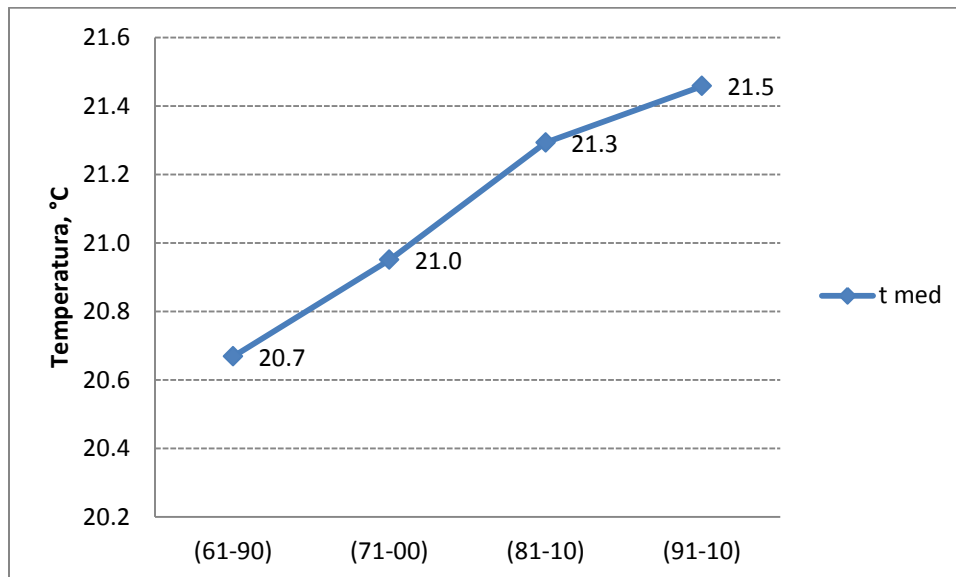


Figura 44. Distribución de la temperatura media promedio anual para cuatro períodos de estudio. 1961-1990, 1971-2000, 1981-2010 y 1991-2010.

3. La generación, obtención y manejo informático de los datos climáticos mostró una calidad insuficiente para su uso directo, por lo que fue revisada y corregida en su caso, antes de aplicar el análisis inferencial sobre variabilidad y cambio climático en la región de estudio. La revisión, corrección y la modificación de datos climatológicos se realizó aplicando las

técnicas y procedimientos que recomienda y establece la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

4. La estimación de la tendencia de la temperatura media promedio anual con los índices de cambio climático definidos por la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial muestra el mismo comportamiento que el de las reportadas para el cambio climático a escala global (Figura. 45).

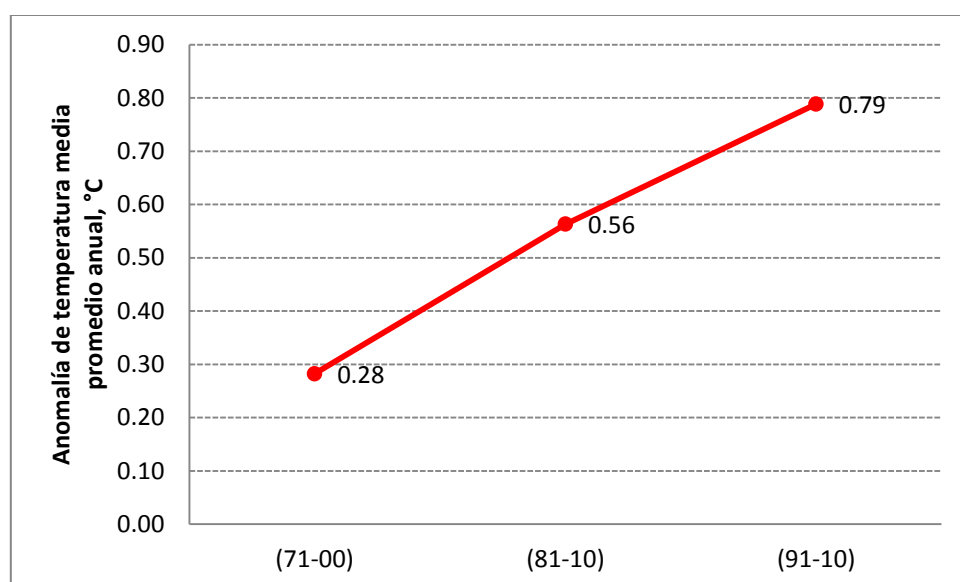


Figura 45. Comportamiento de la anomalía de temperatura media promedio anual del estado de Jalisco estimada para tres períodos climáticos representativos con respecto al período de referencia 1961-1990.

5. A pesar de análisis de homogeneización, algunas estaciones muestran sus ecuaciones de regresión con un coeficiente de determinación muy bajo, incluso después del proceso de homogeneización el coeficiente de determinación decrece (estaciones 14047, 14087, 14093). Si el archivo de la estación no cuenta con metadato de ésta o es un archivo que no cuenta con la información para respaldar los puntos de rompimiento de series de observación (break-points), se recomienda *eliminar* éstas estaciones de los estudios relacionados con variabilidad y cambio climático en la región.

6. Es importante realizar el cálculo de los índices de cambio climático con series homogeneizadas nuevamente. Sin embargo, la capacidad de cómputo disponible al momento del desarrollo del trabajo de tesis no permitió una rápida construcción de las series DIARIAS de temperatura máxima y mínima en las estaciones seleccionadas, por lo anterior, se crearon las series homogeneizadas con datos mensuales para las variables de temperatura.

Finalmente, a partir del análisis realizado en el estado de Jalisco se evidencia el cambio climático. Sin embargo, la magnitud de este cambio puede ser mucho mayor que los estudios realizados y publicados en la Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del estado de Jalisco, ya que la institución no cuenta con los estudios que se basan en la información climatológica verídica, es decir la cuenta con el control de calidad estricto y la homogeneización de series originales disponibles en el Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA.

13. LITERATURA CITADA

- Adger, N. W. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change* 16(3):268-281.
- Adger, N. W., Huq, S., Brown, K., Conway, D., y Hulme, M. (2003). Adaptation to climate change in the developing world. *Progress in Development Studies*, 3(3):179–195.
- Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T., y Wieringa, J. (2003). *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization*. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- Aguilar, E., Sigró, J., y Brunet, M. (2011). *RClimdex con funcionalidades extras de Control*. Tarragona España: Center for Climate Change (C3).
- Alexander, L. V., Hope, P., Collins, D., Trewin, B., Lynch, A., y Nicholls, N. (2007). Trends in Australia's climate means and extremes: a global context. *Australian Meteorological Magazine* 56(1):1-18.
- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. G., y otros. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 111(D5).
- Alexander, S., Ehrlich, P. R., Goulder, L., Lubchenco, J., Matson, P. A., Mooney, H. A., y otros. (1997). *Ecosystem services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems* (Vol. 2). Washington, D.C: Ecological Society of America.
- Allen, M. R., y Ingram, W. J. (2002). Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. *Nature* 419:224-232.
- Barnett, J., y Adger, N. W. (2007). Climate change, human security and violent conflict. *Political Geography* 26(6):639–655.
- Barrera-Rodríguez, R., y Zaragoza-Vargas, F. (1998). *Las estructuras del Relieve del Estado de Jalisco*. (SEMADES, Ed.) Recuperado el 14 de noviembre de 2013, de Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Jalisco:
<http://sigajalisco.gob.mx/moet/SubsistemaNatural/GeologiaYGeomorfologia/sintgeo.htm>
- Bencze, S., Balla, K., Varga, B., y Veisz, O. (2010). Effects of climate extremes in the grain yield and quality of cereals. (A. Kiadó, Ed.) *Acta Agronomica Hungarica* 58(1):115-120.

- Bigg, G. R. (2003). *The Oceans and Climate*. Cambridge University Press.
- Bigg, G. R., Jickells, T. D., Liss, P. S., y Osborn, T. J. (2003). The role of the oceans in climate. *International Journal of Climatology* 23(10): 1127-1159.
- Black, P. G. (1983). Ocean temperature changes induced by tropical cyclones. *Phd. Dissertation*. University Park, Pennsylvania, USA: The Pennsylvania State University.
- Bravo-Lujano, C. (2001). Características de la temporada de ciclones tropicales del año 1999 en México y demás países de América del Norte, Centroamérica y el Caribe. *Revista Geográfica, Instituto Panamericano de Geografía e Historia* 130:61-77.
- Briggs, D. J., y Smithson, P. (1986). *Fundamentals of Physical Geography*. Lanham, USA: Rowman y Littlefield.
- Brooks, N. (2003). Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. *Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper* 38:1-16.
- Brooks, N., Adger, N. W., y Kelly, P. M. (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change* 15(2):151–163.
- Brown, R. A., y Rosenberg, N. J. (1997). Sensitivity of crop yield and water use to change in a range of climatic factors and CO₂ concentrations: a simulation study applying EPIC to the central USA. *Agricultural and Forest Meteorology* 83:171-203.
- Brunet, M., Jones, P. D., Sigró, J., Saladié, O., Aguilar, E., Moberg, A., y otros. (2007). Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850–2005. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere*, 112(D12), 1984–2012.
- Brunet, M. (2010). Datos e indicadores para atribuir eventos al cambio climático: los registros históricos y su problemática. *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, I(1), 19-29.
- Budyko, M. I. (1977). *Climatic Changes*. Washington, D.C.: American Geophysical Union.
- Camargo, S. J., y Sobel, A. H. (2004). Formation of tropical storms in an atmospheric general circulation model. *Tellus A* 56(1):56-57.

- Capel-Molina, J. J., y Castillo-Requena, J. M. (1984). *El clima de los Estados Unidos Mexicanos*. La Rioja, España: Departamento de Geografía. Universidad de la Rioja.
- Cárdenas, G., y Cárdenas, J. (2009). *Agricultura, urbanización y agua*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura .
- Castillo-Aja, R., y Valdivia-Ornelas, L. (2001). Las Regiones Geomorfológicas del Estado de. En C. U. Departamento de Geografía y Ordenamiento Territorial, *Geocalli. Cuadernos de Geografía*. Universidad de Guadalajara.
- CENAPRED. (2007). *Ciclones tropicales. Serie Fascículos*. México, D.F.: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Challenger , A. (1998). *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: Pasado, presente y futuro*. México, D.F. CONABIO-Instituto de Biología, UNAM-Agrupación Sierra Madre.
- Chambwera, M., y Heal , G. (2014). Economics of adaptation. En I. IPCC, *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability* (págs. 3-49). Geneva, Switzerland: IPCC.
- Choi, G., Collins, D., Ren, G., Trewin, B., Baldi, M., Fukuda, Y., y otros. (2009). Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region, 1955–2007. *International Journal of Climatology* 29(13):1906–1925.
- CONAGUA. (2009). *Programa Hídrico 2030 de Estado de Jalisco*. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA, C. (2011). *Estadísticas del agua en México*. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua.
- Conde, C. (2003). Cambio y Variabilidad Climáticos. Tesis para obtener el doctorado en Ciencias de la Tierra. Ciudad de México, México: Posgrado en Ciencias de la Tierra-UNAM.
- Conde, C., Estrada, F., Sánchez, O., y Gay, C. (2011). Regional Climate Change Scenarios for Mexico. *Atmósfera* 24(1):125-140.
- Conde, C., Óscar, S., y Gay, C. (1995). Escenarios básicos y regionales . Estudios de país: México. En C. Gay, L. G. Ruiz-Suárez, M. Imaz, A. C. Conde, y O. Sánchez, *México ante el Cambio Climático. Memorias. Primer Taller de Estudio País México* (pág. 236). México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

- COPLADE. (1998). *Regionalización Administrativa del Estado de Jalisco*. Guadalajara, Jalisco: Gobierno del Estado de Jalisco.
- Coulter, J. D. (1967). Mountain climate. *Proceedings of the New Zealand Ecological Society* 14:40-56.
- Cramer, W., Bondeau, A., Ian Woodward, F., Colin Prentice, I., Betts, R. A., Brokvin, V., y otros. (2001). Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: results from six dynamic global vegetation models. *Global Change Biology* 7(4):357–373.
- Crutzen, P. J., y Steffen, W. (2003). How Long Have We Been in the Anthropocene Era? *Climatic Change* 61(3):251-257.
- Dangermond, J., y Artz, M. (2010). *Climate Change is a Geographic Problem*. Redlands, CA.: ESRI.
- Davie, T. (2008). *Fundamentals of hydrology*. London, United Kingdom: Taylor y Francis.
- Davydova-Belitskaya, V. (2009). Módulo V. Energía y Cambio Climático: Orígenes del Cambio Climático. En UAM-UNAM-ANES-CONAE-DECD, *Diplomado en eficiencia energética, energías limpias y desarrollo sustentable*. México, D.F.
- Davydova-Belitskaya, V. (2013). *Informe del Proyecto 174538 (Primera Etapa): Estrategia Regional para Reducir la Vulnerabilidad y mejorar la capacidad de Adaptación al cambio climático en la Región Occidente de México*. Universidad de Guadalajara-CONACYT, Zapopan, Jalisco.
- Doney, S. C., Ruckelhaus, M., Emmet Dufy, M., Barry, J. P., Chan, F., English, C. A., y otros. (2012). Climate Change Impacts on Marine Ecosystem. *Annual Review of Marine Science* 4:11-37.
- Donney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., y Kleypas, J. A. (2008). Ocean Acidification: The Other CO₂ Problem. *Annual Review of Marine Science* 1:169-192.
- Dow, K., y Downing, T. E. (2011). *The Atlas of CLIMATE CHANGE. Mapping the world's greatest challenge*. Berkeley and Los Angeles California: University of California Press.
- Easterling, W., Aggarwal, P., Batima, P., Brander, K., Erda, L., Howden, M., y otros. (2007). Food, fibre and forest products. En M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, y C. E. Hanson, *Climate*

- Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (págs. 273-313). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- FAO. (2007). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Un marco conceptual para la clasificación, correlación y comunicación internacional*. Roma: FAO.
- Folland, C. K., Karl, T. R., Christy, C. R., Clarke, R., Gruza, G. V., Jouezl, J., y otros. (1995). Observed climate variability and change. En J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, y K. Maskell, *The Science of Climate Change* (págs. 99-181). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Frich, P., Alexander, L. V., Della-Martin, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A., y otros. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Inter-Research Climate Research*, 19(3):193-212.
- Futuyma, D. J. (1998). *Evolutionary Biology*. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates.
- García, E. (1964). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. México, D.F.: Offset Larios.
- García, E. (1998). *Climas, escala 1:1000000*. Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Gay García, C., Ruiz Suárez, L. G., Imaz, M., y Conde, A. C. (1995). *Primer Taller Estudio del País: México ante el cambio climático*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- GCCIP, G. (1997). *Global Climate Change Information Programme*.
- Gourdji, S., Sibley, A., y Lobell, D. (2013). Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: historical trends and future projections. *Environmental Research Letters* 8(2).
- Griggs, D. J., y Noguer, M. (2002). Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Weather* 57(8):267–269.

- Hansen, J., Sato, M., Glascoe, J., y Ruedy, R. (1998). A common sense climate index: Is climate changing noticeably? *The National Academy of Sciences* 95(8):4113-4120.
- Harvell, C. D., Mitchell, C. E., Ward, J. R., Altizer, S., Dobson, A. P., Ostfeld, R. F., y otros. (2002). Climate Warming and Disease Risks for Terrestrial and Marine Biota. *Science* 296 (5576):2158-2162.
- Hegerl, G. c., Zwiers, F. W., Braconnot, P., Gillett, N. P., Luo, Y., Marengo Orsini, J. A., y otros. (2007). Understanding and attributing climate change. En S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, y otros, *Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom: IPCC.
- Hess, D., y Tasa, D. G. (2013). *McKnight's Physical Geography: A Landscape Appreciation*. United States: Prentice Hall.
- Hort, A. (1916). *Enquiry into plants and minor works on odours and weather signs. By Theophrastus*. London, United Kingdom: W. Heinemann.
- Houghton, D. D. (2002). *Introduction to Climate Change: Lectures Notes for Meteorologists, WMO-No. 926*. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- Huggett, R. (2007). *Fundamentals of geomorphology*. London, United Kingdom: Routledge.
- Hunter, P. R. (2003). Climate change and waterborne and vector-borne disease. *Journal of Applied Microbiology* 94(s1):37-46.
- Iglesias, I., Lorenzo, M. N., y Gomez-Gesteira, M. (2010). La temperatura superficial del mar como herramienta de predicción climática. 95-108.
- Imbers, J., Huntingford, C., & Allen, M. (2014). Sensitivity of Climate Change Detection and Attribution to the Characterization of Internal Climate Variability. *Journal of Climate*(27), 3477–3491.
- INECC. (2010). *Guía para el Cálculo y Uso de Índices de Cambio Climático en México*. Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- INECC. (8 de Marzo de 2013). *Avances de los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático*. Recuperado el 31 de enero de 2014, de <http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/peacc/>

- INECC-PNUD. (2013). *Guía Metodológica para Evaluación de la Vulnerabilidad ante el Cambio Climático*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- INEGI. (2002). *Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1: 250 000*. Aguascalientes, Ags: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INEGI. (2014). *Marco geoestadístico municipal 2014 versión 6.2*. Aguascalientes, Ags: Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática.
- INEGI. (2009). *Conjunto de datos vectoriales escala 1:100000. Provincias Fisiográficas*. Aguascalientes, Ags: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INEGI. (2010). *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa, 2005-2009*. Obtenido de http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/de_rivada/regionales/pib/2005_2009_seg/PIBE2009.pdf
- INEGI. (2011a). *Conjunto de datos vectoriales escala 1:1000000. Precipitación Media Anual*. Aguascalientes, Ags: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática - Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA).
- INEGI. (2011b). *Conjunto de datos vectoriales escala 1:1000000. Temperatura Media Anual*. Aguascalientes, Ags: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática - Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA).
- INEGI. (2012). *Red Hidrográfica escala 1:50 000 edición 2.0*. Aguascalientes, Ags: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INEGI. (2013a). *Carta de Uso de Suelo y Vegetación Serie V (2011)*. Aguascalientes, Ags: Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática.
- INEGI. (2013b). *Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0)*. Aguascalientes, Ags: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- Inzunza, J. (2005). Clasificación de los Climas de Köppen. *Ciencia Ahora*, 14.
- IPCC. (2001). Glossary. En J. McCarthy, O. Canziani, N. Leary, D. Dokken, y K. White, *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.

- 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 de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra, Suiza: Panel Intergubernamental de Cambio Climático.
- IPCC. (2014a). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. The Summary for Policymakers (SPM) of the Working Group II contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (WGII AR5)*. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2014b). *Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summary for Policymakers*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Jóbbagy, E. G., y Jackson, R. B. (2000). The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications* 10(2):423-436.
- Karl, T. R., Nicholls, M., y Ghazi, A. (1999). Clivar/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes workshop summary. *Weather and Climate Extremes*, 3-7.
- Kioutsoukis, I., Melas, D., y Zerefos, C. (2010). Statistical assessment of changes in climate extremes over Greece (1955-2002). *International Journal of Climatology* 30(11):1723-1737.
- Kitano, H. (2002). Systems Biology. *Science* 295(5560):1662-1664.
- Klein Tank, A., y Können, G. P. (2003). Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-1999. *International Journal of Climatology*, 16:3665-3680.
- Kolbert, E. (2011). Bienvenido al Antropoceno. La era del jombre. *National Geographic en Español* 28(3):2-25.
- Köppen, W. (1948). *Climatología*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Krimbas, C. B. (2004). On fitness. *Biology and Philosophy* 19(2):185-203.
- Kruger, A. C., y Sekele, S. S. (2013). Trends in extreme temperature indices in South Africa: 1962-2009. *International Journal of Climatology* 33(3):661–676.

- Kundzewicz, Z.W., Mata, L.J., Arnell, N.W., Döll, P., Jiménez, B., Miller, K., y otros. (2008). The implications of projected climate change for freshwater resources and their management. *Hydrological Sciences Journal* 53(1):3-10.
- Kurgansky, M.V. (2002). *Adiabatic Invariants in Large-Scale Atmospheric Dynamics* (Second ed.). London: Taylor y Francis.
- Le Houérou, H. N. (1996). Climate change, drought and desertification. *Journal of Arid Environments* 34(2):133–185.
- Le Quéré, C., Andres, R. J., Boden, T., Conway, T., Houghton, R. A., House, J. I., y otros. (2013). The Global Carbon Budget 1959–2011. *Earth System Science Data* 5(1):165-185.
- Le Quéré, C., Moriarty, R., Andrew, M. R., Peters, G. P., Ciais, P., Friedlingstein, P., y otros. (2014). The Global Carbon Budget 2014. *Earth System Science Data*(7), 521-610.
- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., y otros. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 254(4):698–709.
- Linnenluecke, M., y Griffiths, A. (2010). Beyond Adaptation: Resilience for Business in Light of Climate Change and Weather Extremes. *Business Society* 49(3):477-511.
- Lombard, A., Cazenave, A., Le Traon, P.-Y., y Ishii, M. (2005). Contribution of thermal expansion to present-day sea-level change revisited. *Global and Planetary Change* 47(1):1–16.
- Lovejoy, T. E. (2006). Protected areas: a prism for a changing world. *Trends in Ecology y Evolution* 21(6):329–333.
- Ly, M., Seydou, B. T., Agali, A., y Benoît, S. (2013). Evolution of some observed climate extremes in the West African Sahel. *Weather and Climate Extremes*, 1:19–25.
- Maass, J. M., y Martínez-Yrizar, A. (1990). Los Ecosistemas: definición, origen e importancia. *Ciencias* 4:10-20.
- Mantua, N., Tover, I., y Hamlet, A. (2010). Climate change impacts on streamflow extremes and summertime stream temperature and their possible consequences for freshwater salmon habitat in Washington state. *Climatic Change* 102(1-2): 187-223.

- Martens, W. J. (1998). Climate change, thermal stress and mortality changes. *Social Science y Medicine* 46(3):331–344.
- McGranahan, G., Balk, D., y Anderson, D. (2007). The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and Urbanization* 19(1):17-37.
- Mileti, D. (1999). Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States. En D. Mileti, *Natural Hazards and Disasters: Reducing Loss and Building Sustainability in a Hazardous World: A Series* (pág. 376). Joseph Henry Press.
- Montealegre, J., y Pabón, J. (2000). La Variabilidad Climática Interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña- Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana* 2:17-21.
- Myers, N. (1996). Environmental services of biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 93(7):2764–2769.
- NOAA National Climatic Data Center. (31 de Diciembre de 2014). *State of the Climate: Global Analysis for Annual 2014*. Recuperado el 22 de Febrero de 2015, de <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2014/13>
- Nicholls, N., y Alexander, L. V. (2007). Has the climate become more variable or extreme? Progress 1992-2006. *Progress in Physical Geography* 31(1):77-87.
- Nicholls, R. J., y de la Vega-Leinert, A. C. (2008). Implications of Sea-Level Rise for Europe's Coasts: An Introduction. *Journal of Coastal Research* 24(2): 285–287.
- O'Brien, M. J., y Holland, T. D. (1992). The Role of Adaptation in Archaeological Explanation. *American Antiquity* 57(1):36-59.
- OMM. (1992). *Vocabulario meteorológico internacional*. Ginebra, Suiza: OMM.
- OMM. (2011). *Guía de Prácticas Climatológicas*. Ginebra, Suiza: OMM.
- OMM. (2005). *Tiempo, Clima, Agua y Desarrollo Sostenible*. Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
- Orlanski, I. (1975). A Rational Subdivision of Scales for Atmospheric Processes. *Bulletin of the American Meteorological Society* 56(5):527-530.

- Parker, B. R., Vinebrooke, R. D., y Schindler, D. W. (2008). Recent climate extreme alter alpine lake ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105(35):12927–12931.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 37:637-669.
- Pearson, R. G., y Dawson, T. P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography* 12(5):361–371.
- Pepin, N. C., y Lundquist, J. D. (2008). Temperature trends at high elevations: patterns across the worlds. *Geophysical Research Letters*, 35(14), 1-6.
- Peterson, T. C. (2005). *Climate Change Indices*. WMO Bulletin. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- Peterson, T. C., y Manton, M. J. (2008). Monitoring Changes in Climate Extremes: A Tale of International Collaboration. *Bulletin of American Meterological Society* 8(9):1266–1271.
- Peterson, T. C., Zhang, X., Brunet-India, M., y Vázquez-Aguirre, J. L. (2008). Changes in North American extremes derived from daily weather data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D7).
- Pielke, R. A. (1998). Rethinking the role of adaptation in climate policy. *Global Environmental Change* 8:159-170.
- Radinović, D., y Ćurić, M. (2012). Measuring scales for daily temperature extremes, precipitation and wind velocity. *Meteorological Applications*.
- Ramaswamy, V., Chanin, M. L., Angell, J. J., Barnett, J., Gaffen, D., Gelman, M., y otros. (2001). Stratospheric temperature trends: Observations and model simulations. *Reviews of Geophysics* 39(1):71–122.
- Rocklov, J., y Fosberg, B. (2009). Comparing approaches for studying the effects of climate change-a case of study of hospital admissions in Sweden during an extremely warm summer. *Global Health Action*, 2.
- Rohli, R. V., y Vega, A. J. (2007). *Climatology*. Burlington, USA: Jones and Bartlett Publishers.

- Rosengaus-Moshinsky, M., Jiménez-Espinosa, M., y Vázquez-Conde, M. T. (2002). *Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México*. México, D.F.: CENAPRED-IMTA.
- Rosenzweig, C. E., Tubiello, F., Goldberg, R., Mills, E., y Bloomfield, J. (2002). Increased crop damage in the U.S. from excess precipitation under climate change. *Global Environmental Change* 12(3):197-202.
- Rosenzweig, C., Iglesias, A., Yang, X. B., Epstein, P. R., y Chivian, E. (2001). Climate Change and Extreme Weather Events; Implications for Food Production, Plant Diseases, and Pests. *Global Change and Human Health* 2(2):90-104.
- Ruddiman, W. F. (2003). The Anthropogenic Greenhouse Era Began Thousands of Years Ago. *Climatic Change* 61(3):261-293.
- Ruiz, J. (2010). *Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución (panorama 2011-2100)*. Bogotá: IDEAM.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México, D.F.
- Sachs, J. D. (2015). *The Age of Sustainable Development*. New York: Columbia University Press.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., y otros. (2009). *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. México, D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Satyamurty, P., Anderson de Castro, A., Tota, J., da Silva Gularte, L. E., y Ocimar-Manzi, A. (2010). Rainfall trends in the Brazilian Amazon Basin in the past eight decades. *Theoretical and Applied Climatology* 99(1-2):139-148.
- Schlesinger, W. W., y Andrews, J. A. (2000). Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry*, 7-20.
- Seidel, D. J., y Free, M. (2003). Comparison of lower-tropospheric temperature climatologies and trends at low and high elevation radiosonde sites. *Climate Change*, 59(1-2), 53-74.
- Smit, B., y Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16(2006), 282–292.

- Smit, B., Burton, I., y Wandel, J. (2000). An anatomy of adaptation to climate change and variability. *Climatic Change* 45:223-251.
- SMN. (2012). *Catálogo de estaciones CLICOM*. Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA).
- Solomon, S., Daniel, J. S., Sanford, T. J., Murphy, D. M., Plattner, G. K., Knutti, R., y otros. (2010). Persistence of climate changes due to a range of greenhouse gases. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(43):18354–18359.
- SSP. (1981). *Síntesis Geográfica del Estado de Jalisco*. México, D.F.: Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática.
- Steyn, D. G., Oke, T. R., Hay, J. E., y Knox, J. L. (1981). On Scales in Meteorology and Climatology. *McGill Climatological Bulletin* 30:1-8.
- Stott, P. A., Jones, G. S., Christidis, N., Zwiers, F. W., Hegerl, G., y Shiogama, H. (2011). Single-step attribution of increasing frequencies of very warm regional temperatures to human influence. *Atmospheric Science Letters* 12: 220-227.
- Swart, J. A. (2003). Will direct payments help biodiversity? *Science* 299 (5615):1981-1982.
- Tamayo, L. J. (1990). *Geografía moderna de México*. Ed. Trillas. México, D.F.
- Tank, A., y Können, G. P. (2003). Trends in Indices of daily Temperature and Precipitation extremes in Europe 1946-99. *International Journal of Climatology* 25(9):1149–1171.
- Tans, P., y Keeling, R. F. (2013). *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*. Recuperado el 25 de noviembre de 2013, de <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>
- Tarhule, A., y Lamb, P. J. (2003). Climate Research and Seasonal Forecasting for West Africans: Perceptions, Dissemination, and Use? *Bulletin of the American Meteorological Society* 84(12):1741-1759.
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., y otros. (2003). Extinction risk from climate change. *Nature* 427:145-148 .

- Thuiller, W., Lavorel, S., Araujo, M. B., Sykes, M. T., y Prentice, C. I. (2005). Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102(23): 8245-8250.
- Tierney, K. J., Lindell, M. K., y Perry, R. W. (2001). *Facing the Unexpected: Disaster Preparedness and Response in the United States*. Washington, D.C: Joseph Henry Press.
- Trenberth, K. E. (2012). Framing the way to relate climate extremes to climate change. *Climatic Change* 115(2):283-290.
- Trenberth, K. E., Jones, P. D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Tank, A. K., y otros. (2007). Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. En S. Solomon, D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, y otros, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (págs. 235-336). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- UNDHA. (1992). *Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management*. Geneva, Switzerland: United Nations Department of Humanitarian Affairs.
- UNFCCC. (2012). *Glossary. CDM Terms*. Bonn, Germany: United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Vázquez-Aguirre, J. L. (2010). *Guía para el Cálculo y Uso de Índices de Cambio Climático en México*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Vázquez-Aguirre, J. L., Brunet, M., y Jones, P. D. (2008). *Cambios observados en los extremos de temperatura de temperatura y precipitación en el estado de Veracruz, México, a partir de datos diarios. Cambio Climático Regional y sus Impactos*. Asociación Española de Climatología.
- Vidal-Zepeda, R. (2005). *Las regiones climáticas de México*. México, D.F. Instituto de Geografía, UNAM.
- Vincent, L. A., Zhang, X., Bonsal, R., y Hogg, W. D. (2002). Homogenization of daily temperatures over Canada. *Journal of Climatology*(15), 1322-1334.
- Vincent, L. A., Peterson, T. C., Barros, V. R., Marino, M. B., Rusticucci, M., Carrasco, G., y otros. (2005). Observed Trends in Indices of Daily

- Temperature Extremes in South America 1960-2000. *American Meteorological Society*, 18(DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI3589.1>), 5011–5023.
- Vincent, L. A., Wang, X. L., Milewska, E. J., Wan, H., Yang, F., y Swail, V. (2012). A second generation of homogenized Canadian monthly surface air temperature for climate trend analysis. *Journal of Geophysical Research*(117).
- Wang, H., Chen, Y., Xun, S., Lai, D., Fan, Y., y Li, Z. (2013). Changes in daily climate extremes un the arid area of northwestern China. *Theoretical and Applied Climatology* 112:15-28.
- Wang, Q., Fan, X., Qin, Z., y Wang, M. (2012). Change trends of temperature and precipitation in the Loess Plateau Region of China, 1961–2010. *Global and Planetary Change* 92-93:138–147.
- Wang, X. L. (2003). Comments on “Detection of undocumented changepoints: A revision of the two-phase regression model”. *Journal of Climate* 16(20): 3383-3385.
- Wang, X. L., y Feng, Y. (2013). *RHtestsV4 User Manual*. Toronto, Canada: Climate Research Division Atmospheric Science and Technology Directorate Science and Technology Branch, Environment Canada.
- Watson, R. T., Zinyowera, M. C., y Moss, R. H. (1997). *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Welbergen, J. A., Klose, S. M., Markus, N., y Eby, P. (2008). Climate change and the effects of temperature extremes on Australian flying-foxes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 275(1633):419-425.
- WHO (2005). *Ecosystems and human well-being*. Washington, D.C: Island Press.
- WHO (2008). *Protecting Health from Climate Change*. Switzerland: World Health Organization.
- Wigley, T. M., y Raper, S. C. (1987). Thermal expansion of sea water associated with global warming. *Nature* 330:127-131.
- Williams, C. J., Kniveton, D. R., y Layberry, R. (2010). Assessment of a climate model to reproduce rainfall variability and extremes over Southern Africa. *Theoretical and Applied Climatology* 99(1-2):9-27.

- WMO (2009). *Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation*. Geneva: Switzerland.
- WMO. (1967). International meteorological vocabulary. WMO, No. 182. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 93(395): xvi-276.
- WMO. (2011). *Guide to Climatological Practices*, WMO-No. 100. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- Woodwell, G. M., Mackenzie, F. T., Houghton, R. A., Apps, M., Gorham, M., y Davidson, E. (1998). Biotic feedbacks on the warming of the Earth. *Climatic Change*(40), 495-518.
- World Bank. (2010). *World Development Report: Development and Climate Change*. Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development.
- Xu, W., Li, Q., Wang, X. L., Yang, S., Cao, L., y Feng, Y. (2013). Homogenization of chinese daily temperatures and analysis of trends in extreme temperatures indices. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(17), 9708-9720.
- Zhang, X., y Yang, F. (2004). *RClimdex (1.0) Manual de Usuario*. Ontario, Canadá: Climate Research Brand, Environment Canada.
- Zhou, X. Y., Zhang, C. Y., y Guo, G. F. (2010). Effects of climate change on forest soil organic carbon storage: a review. *PubMed* 21(7):1867-1874.