



Análisis de la calidad de los datos y la tendencia de algunos índices de precipitación en el estado de Jalisco

Analysis of Data Quality and the Trend of Some Indices of Precipitation in the State of Jalisco

Gerardo Núñez González y José García Suárez*

En este trabajo se presentan los resultados del análisis de la calidad de los datos y la tendencia de cinco índices de precipitación calculados a partir de las series de tiempo de 48 estaciones ubicadas dentro del territorio del estado de Jalisco. Los índices fueron determinados de acuerdo con la metodología propuesta por el Equipo de Expertos en el Monitoreo y Detección de Cambio

In this paper, we show the results from the analysis of data quality, as well as the trend of five precipitation indices calculated from the time series of 48 stations located within the state of Jalisco. Precipitation indices were computed according to the methodology proposed by the Expert Team on Climate Change Monitoring, Detection and Indices. The results of the data quality

* Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur, gerardo.nunez@cucsur.udg.mx y josegar@cucsur.udg.mx, respectivamente.

Nota: el primer autor agradece al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por el apoyo otorgado para la realización del proyecto de investigación titulado: *Análisis de la información disponible en la red de estaciones climatológicas del estado de Jalisco: disponibilidad, calidad y homogeneidad de las series de tiempo históricas de temperatura y precipitación.*



Scenic View Of Calm Sea Against Sky / Anthony Roberson / EyeEm/Getty Images

Climático e Índices. Los resultados muestran que existen algunos problemas relacionados con la homogeneidad de las series de datos. En cuanto a las tendencias, el índice de precipitación total anual muestra una disminución en 71% de las series, mientras que en el caso del de días consecutivos secos se observa un aumento en 85% de los casos analizados.

Palabras clave: índices de precipitación; cambio climático; Jalisco.

Recibido: 26 de agosto de 2016.

Aceptado: 8 de enero de 2018.

Introducción

Desde la publicación del primer reporte del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en 1990, el tema del calentamiento global se ha vuelto una de las principales preocupaciones (IPCC, 2007; Houghton, 2005; Prabhakar and Shaw, 2008). En México, en los últimos años, se ha observado un interés creciente por parte de las instancias gubernamentales y no gubernamentales con fines aplicados o académicos por lograr un mejor entendimiento de la variabilidad climática; su estudio, partiendo de cambios en los eventos extremos utilizando datos diarios, constituye el ingrediente fundamental para determinar el comportamiento del clima en la actualidad (Burgos y González, 2012). Para ello, es indispensable

analysis show some problems related to the homogeneity of the data series. Likewise, the Annual Total Precipitation Index shows a downward trend in 71% of the time series, while in the case of consecutive dry days index, an upward trend is observed in 85% of the analyzed series.

Key words: Rainfall indices; Climatic change; Jalisco.

ble contar con datos de calidad, ya que solo a partir de ahí se podrán estudiar de manera confiable las variaciones y cambios en el clima.

La exactitud de los registros climatológicos puede verse afectada por cambios en las condiciones ambientales o técnicas en las cuales se realizan las mediciones (Aguilar *et al.*, 2003; Auer *et al.*, 2005). La no homogeneidad de los datos puede notarse a partir de fuertes saltos en el comportamiento de las variables registradas e incrementos graduales sesgados respecto a las verdaderas características macroclimáticas. En este sentido, es muy importante que antes de realizar cualquier estudio enfocado al análisis de la variabilidad climática se evalúe y corrija cualquier anomalía que se considere que no representa el comportamiento real del clima.

La temperatura, la precipitación y el nivel del mar son tres variables muy importantes que se han registrado de manera más o menos regular en nuestro país. Las series, sin embargo, distan mucho de ser las óptimas para realizar los estudios pertinentes tendientes a estimar de forma confiable lo ocurrido en México durante el siglo XX (Gay *et al.*, 2010). Lo anterior ha traído como consecuencia que nuestro país no haya sido tomado en cuenta en algunos estudios globales enfocados al análisis y detección del cambio climático, como es el caso del llevado a cabo por Frich *et al.* (2002).

Sin embargo, a nivel nacional, desde 1994 (cuando se hizo el taller Estudio de País¹), en México se ha realizado una serie de trabajos enfocados a la investigación del cambio climático y sus posibles efectos (Martínez, 2007).

En el caso particular del estado de Jalisco (a partir de los distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero) se ha proyectado que la precipitación total anual disminuirá entre 5 y 10% para el 2020 y, a largo plazo (para el 2080), entre 5 y 15% (Greenpeace, 2010; INECC, 2016).

Con base en el contexto anterior, el objetivo de este trabajo consistió, por un lado, en la evaluación de la calidad de los registros de precipitación correspondientes a las estaciones ubicadas dentro de Jalisco y, por el otro, al cálculo de cinco índices de precipitación y las tendencias observadas en éstos, tratando de verificar los resultados de las proyecciones mencionadas con anterioridad.

Datos y métodos

Se obtuvieron series de precipitación de la base de datos CLICOM del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2015); dentro de ella se identificaron 268 estaciones para Jalisco, de las cuales solo 172 contaban con registros mayores a 20 años.

¹ Realizado en 1994 por el Instituto Nacional de Ecología y la Universidad Nacional Autónoma de México.

La evaluación de la calidad de los datos es un requisito indispensable para llevar a cabo el cálculo de tendencias. De esta manera, el control de su calidad en este trabajo consistió de dos etapas: una enfocada a la evaluación de la consistencia interna de las series y la otra, para determinar la homogeneidad de los registros de precipitación disponibles para el estudio. En la primera se analizó la cantidad de datos faltantes, la duplicación de registros y la presencia de valores atípicos, entre otros, mientras que la segunda se basó en la aplicación de una prueba de homogeneidad.

La evaluación de la homogeneidad y los ajustes necesarios son tareas complejas (Aguilar *et al.*, 2003; Vincent *et al.*, 2005), ya que se requiere información detallada sobre la operación de la estación (metadatos) o, en su defecto, información de calidad de estaciones vecinas. De esta manera, en el análisis de la homogeneidad de las series de tiempo consistió solo en la identificación de problemas potenciales a través de la metodología propuesta por Wang *et al.* (2010), la cual identifica cambios en el comportamiento de una serie de tiempo al comparar el ajuste de un modelo de regresión de dos fases con la tendencia lineal de la serie de tiempo.

Para evaluar la tendencia de la precipitación, se decidió calcular cinco índices (ver cuadro 1) con base en la metodología desarrollada por el Equipo de Expertos en el Monitoreo y Detección de Cambio Climático e Índices (ETCCDMI, por sus siglas en inglés); las virtudes de éstos es que son fáciles de calcular y actualizar, de interés y validez a escalas global, regional y local, así como sencillos de entender y comparar, al mismo tiempo que tienen un claro significado físico (Brunet, 2010). Una descripción detallada puede ser consultada en Peterson *et al.* (2001).

Una vez calculados los índices de precipitación se determinó la tendencia lineal de las series de cada uno de ellos utilizando el estimador de pendiente propuesto por Sen (1968), el cual se basa en la prueba de rangos de Kendall y corresponde a la mediana de las pendientes obtenidas de los

Cuadro 1

Índices de precipitación

ID	Índice	Definición
PRCPTOT	Precipitación total anual	Precipitación total anual ($RR > 1\text{mm}$)
SDII	Índice simple de intensidad diaria	Precipitación total anual dividida entre el número de días con lluvia
RX1day	Precipitación máxima en un día	Máximo de precipitación en un día
CDD	Días consecutivos secos	Número máximo de días consecutivos con $RR < 1\text{mm}$
CWD	Días consecutivos con lluvia	Número máximo de días consecutivos con $RR > 1\text{mm}$

pares de puntos de la serie. La elección del estimador se basó en que éste es robusto a los efectos producidos por datos atípicos (Vincent *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2005), por lo que ha sido ampliamente utilizado para el cálculo de tendencias en series hidrometeorológicas.

El análisis de la tendencia se realizó tomando en cuenta dos periodos diferentes: en el primero se utilizó la longitud total de las series y el segundo, para el lapso de registro común comprendido entre 1980 y el 2010, esto con el propósito de to-

mar en cuenta el comportamiento histórico de las series de precipitación por un lado y, por el otro, para poder comparar bajo las mismas condiciones el observado en la precipitación durante un periodo de registro común. La evaluación de la calidad de los datos, así como el cálculo de los índices de precipitación se apoyó en los paquetes de *software* estadístico *R* denominados *Rclimdex* y *RHtestV3*, los cuales fueron desarrollados en el Departamento de Investigación del Servicio Meteorológico de Canadá. El procedimiento para su utilización se presenta en el apéndice de este trabajo.

Cuadro 2

Continúa

Estaciones utilizadas para el cálculo de los índices de precipitación

ID	Nombre de la estación	Ubicación		Periodo de registro		Precipitación observada (mm)	
		Latitud	Longitud	Inicio	Fin	Media	Desv. est.
14066	Guadalajara (DGE)	20.676	-103.339	1930	2012	995.4	177.5
14017	Atotonilco El Alto	20.550	-102.508	1942	2012	878.0	218.0
14122	San Bernardo	21.632	-102.390	1942	2012	566.9	153.0
14018	Atoyac	20.010	-103.508	1943	2012	659.2	113.7
14100	Mexxicacán	21.265	-102.779	1943	2012	715.6	179.5
14123	San Diego de Alejandría	20.994	-102.000	1943	2012	654.5	254.1
14118	Quito	19.525	-103.441	1944	2012	894.8	163.8
14125	San Gregorio	20.621	-104.576	1944	2012	1 301.6	200.1
14028	Cihuatlán (DGE)	19.238	-104.559	1946	2012	942.4	290.3
14052	El Nogal	19.897	-103.796	1946	2012	781.0	160.8
14180	Quitupan	19.927	-102.881	1946	2012	805.9	141.1
14156	Tuxcueca	20.154	-103.186	1946	2012	750.8	144.8
14099	Mazamitla	19.916	-103.017	1947	2012	1 000.3	269.2
14080	La Cuña	21.007	-102.830	1949	2012	813.5	170.7
14081	La Desembocada	20.729	-105.203	1949	2012	1 100.2	214.8

Estaciones utilizadas para el cálculo de los índices de precipitación

ID	Nombre de la estación	Ubicación		Periodo de registro		Precipitación observada (mm)	
		Latitud	Longitud	Inicio	Fin	Media	Desv. est.
14072	Huerta Vieja	20.426	-103.237	1950	2012	894.8	166.0
14016	Atequiza	20.395	-103.136	1951	2012	855.0	147.5
14038	Cuixtla	21.052	-103.441	1954	2012	860.1	148.9
14048	El Chiflón	19.292	-104.559	1954	2012	1 431.2	224.3
14089	La Vega	20.592	-103.864	1954	2012	908.6	156.6
14067	Higuera Blanca	19.994	-105.153	1955	2012	644.4	235.8
14136	Santa Rosa	20.906	-103.729	1955	2012	920.6	139.9
14026	Casa Llanta	22.059	-103.356	1957	2012	703.5	195.5
14144	Tenasco	22.157	-103.220	1957	2012	673.8	354.4
14036	Cuautitlán	19.451	-104.356	1958	2012	1 685.5	258.7
14002	Acatlán de Juárez	20.421	-103.593	1961	2012	794.8	139.2
14011	Apazulco	19.306	-104.898	1961	2012	894.7	300.4
14035	Corrinchis II	20.501	-104.779	1961	2012	1 184.2	167.9
14056	El Salitre	20.510	-103.864	1961	2012	906.0	147.1
14087	La Red	20.725	-102.813	1961	2012	874.2	157.3
14266	San Gaspar de los Reyes	21.285	-102.491	1961	2012	672.0	137.6
14155	Tuxcacuesco	19.697	-103.983	1961	2012	711.8	142.2
14157	Unión de San Antonio	21.131	-102.000	1961	2012	682.1	171.4
14053	El Pinito	22.609	-103.949	1964	2012	634.2	96.6
14070	Huascato	20.481	-102.237	1964	2012	806.6	154.0
14046	El Chante	19.719	-104.203	1969	2012	863.4	204.9
14029	Concepción de Buenos Aires	19.978	-103.254	1970	2012	959.9	215.9
14034	Contla	19.753	-103.169	1970	2012	1 130.1	212.6
14329	La Experiencia	20.670	-103.288	1978	2012	921.6	160.9
14311	Canoas	19.574	-103.915	1979	2012	503.9	122.3
14317	Mixtlán	20.438	-104.407	1979	2011	1 047.7	175.2
14324	Temastlán	21.974	-103.525	1979	2012	844.4	463.0
14337	Apozol	21.018	-102.830	1980	2012	714.6	149.5
14339	El Cuale	20.596	-105.220	1980	2012	1 663.9	293.0
14336	El Guayabo	19.265	-103.288	1980	2012	786.8	195.6
14349	El Rodeo	20.252	-104.593	1980	2012	984.6	179.0
14350	El Rosario	19.649	-104.000	1980	2012	624.1	130.6
14320	La Saucedá	21.353	-101.847	1980	2012	605.5	147.6

Resultados

De las 172 estaciones con registros mayores a los 20 años, 106 contaban con menos de 10% de datos faltantes, razón por la cual se decidió tomar solo a éstas como la muestra de estudio para el análisis de calidad y homogeneidad de los datos. En las series analizadas no se encontraron problemas serios en el caso de datos duplicados, inconsistencias y saltos fuertes en las observaciones de un día para otro. Sin embargo, los datos atípicos y los registros consecutivos de la misma magnitud se observaron casi en todas las estaciones, errores que pueden ser producto del proceso de observación, en el primer caso, y de la transcripción a los cuadernos meteorológicos y transferencia a los archivos centrales de la red, en el segundo (Brunet, 2010).

Por otro lado, en el caso de la homogeneidad, se encontró que 72 de las series analizadas pasaron esta prueba realizada a escala mensual, mientras que las restantes mostraron entre uno y tres saltos estadísticamente significativos, como puede observarse en los ejemplos de la gráfica 1 (a, b y c). A las 72 estaciones que sí la pasaron se les aplicó

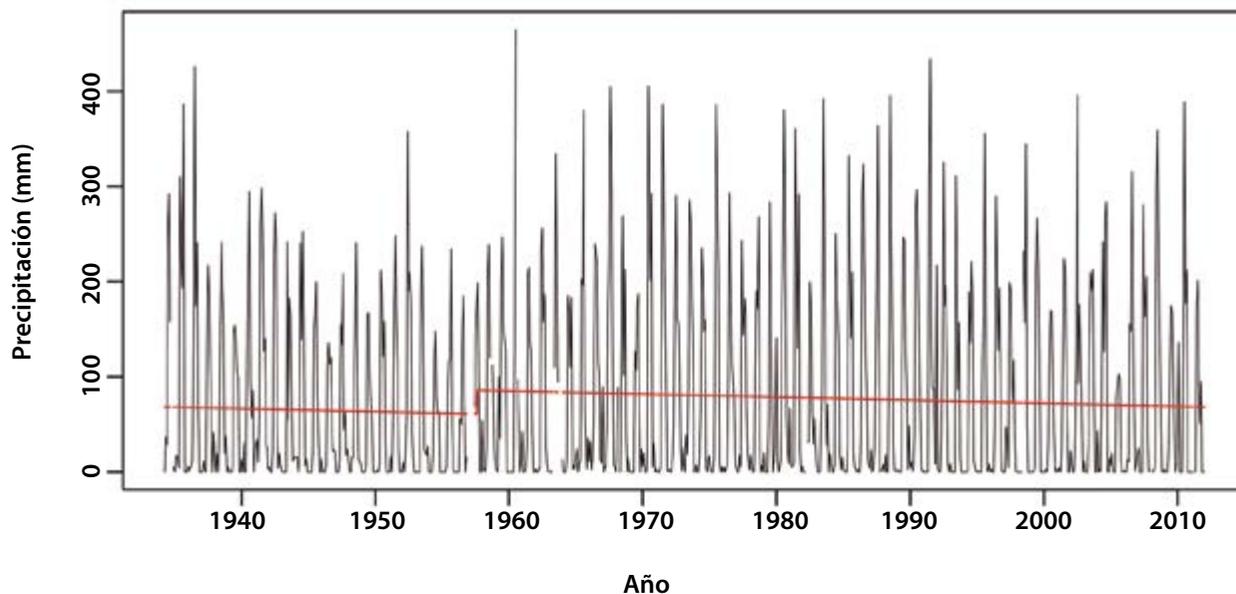
un filtro para discriminar las que tenían registros hasta el 2010, obteniendo como resultado que solo 48 cumplían con este criterio (ver cuadro 2); de éstas, se encontró que 10 contaban con datos para un periodo mínimo de 30 años, mientras que en el resto iba de los 40 a los 80 años, con lo cual cumplían los criterios recomendados por la Organización Meteorológica Mundial para el análisis de tendencias (Vázquez-Aguirre, 2010).

En el cuadro 3 se presentan los estadísticos descriptivos de la tendencia observada en los índices de precipitación para el periodo completo de registros de las 48 estaciones bajo estudio, los cuales ayudan a comprender el comportamiento histórico de la precipitación. De acuerdo con los resultados mostrados se puede ver, en el caso del índice de precipitación total anual (PRCPTOT), una tendencia a la disminución de la precipitación acumulada, pues de las 48 estaciones analizadas, 71% mostró una tendencia negativa, que representaría una disminución de 6.5 mm en un lapso de 10 años si se tomara el promedio para todas éstas, observándose que, incluso, la disminución podría llegar a ser de hasta 56 mm en 10 años en el caso más

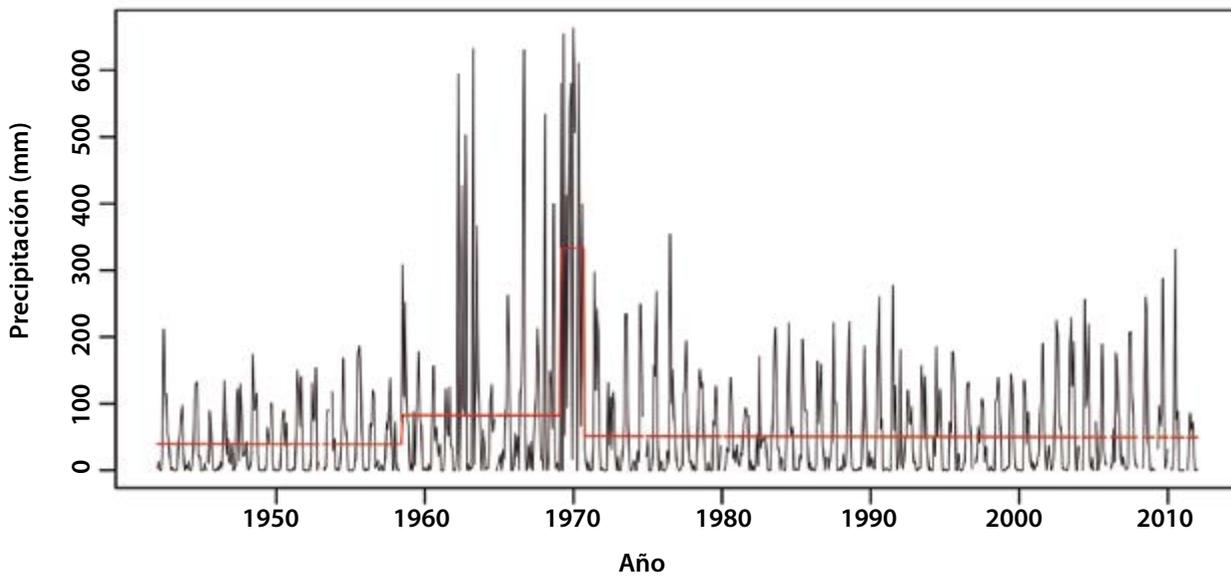
Gráfica 1

Resultados de la aplicación de la prueba de homogeneidad

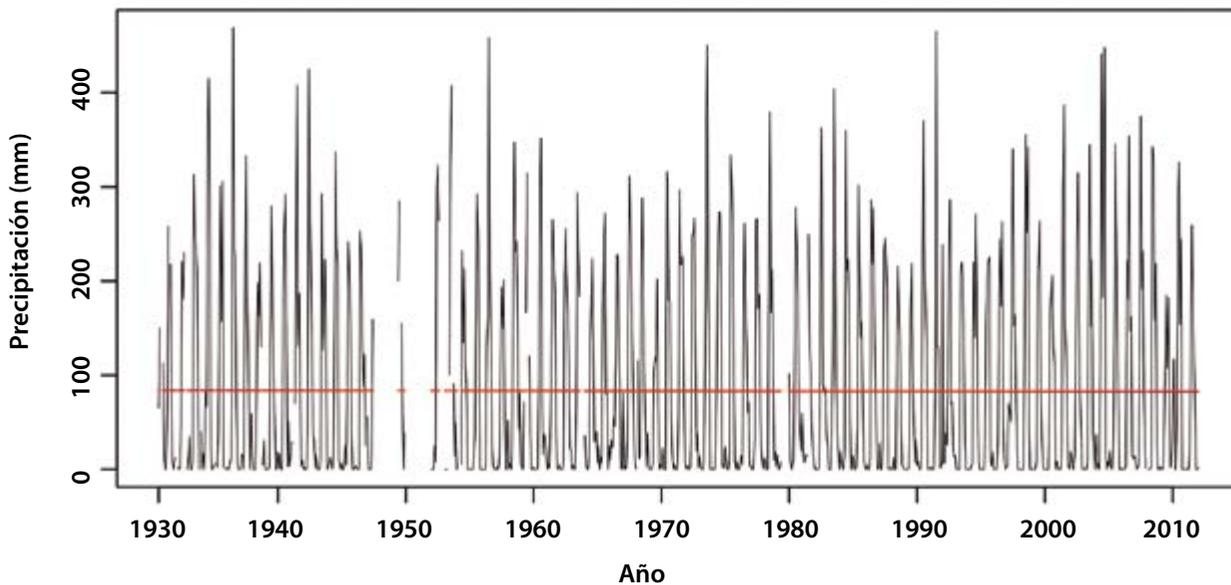
a) Estación 14040 Chapala (un salto)



b) Estación 14084 Lagos de Moreno (tres saltos)



c) Estación 14066 Guadalajara DGE (homogénea)



extremo. En el mismo sentido, en la gráfica 2 se presentan dos ejemplos de la tendencia observada para el PRCPTOT en dos estaciones con los periodos de registros más amplios; se observan pendientes negativas de -0.567 para la estación 14066 Guadalajara y de -0.704 para la 14016 Atequiza.

Por otro lado, en cuanto al índice simple de intensidad diaria (SDII), en el cuadro 3 se ve una tendencia al incremento, de acuerdo con 77% de tendencias positivas encontradas en los resultados.

No obstante, la magnitud promedio observada en la tendencia de este índice puede considerarse pequeña debido a que, en el caso más extremo, el incremento en este índice representaría un aumento en la intensidad diaria de menos de 0.15 mm/día.

Por otra parte, en lo que se refiere al índice de precipitación máxima en un día (RX1DAY) se observó una tendencia positiva en 71% de los casos. La magnitud promedio encontrada para las 48 estaciones analizadas en este índice indica un aumento de cer-

Cuadro 3

Estadísticos descriptivos de la tendencia observada en los índices de precipitación calculados para el periodo completo de registros

Estadístico	PRCPTOT (mm/año)	SDII (mm/d)	RX1DAY (mm/d)	CDD (días/año)	CWD (días/año)
Mínima	-5.61	-0.067	-0.35	-0.97	-0.16
Máxima	9.01	0.14	1.59	2.01	0.07
Media	-0.65	0.02	0.17	0.62	-0.03
Desviación típica	2.96	0.04	0.37	0.62	0.04
Tendencias negativas	34	11	14	7	37
Tendencias positivas	14	37	34	41	11
Tendencias significativas a 5%	6	8	6	13	4
Tendencias significativas a 10%	4	6	1	0	5

ca de 2 mm/día en un periodo de 10 años, mientras que para la estación donde se observa el caso más extremo pudiera llegar a ser de hasta 16 milímetros.

En el mismo sentido, para el índice de días consecutivos secos (CDD) se encontró que en 85% de los resultados la tendencia fue positiva, observándose en promedio para las 48 estaciones un incremento de seis días, tomando como base un periodo de 10 años, mientras que, para la estación con la condición más extrema, el número de días consecutivos secos podría incrementarse, de acuerdo con la tendencia encontrada, 20 días. En la gráfica 3 se presenta la tendencia para el CDD en dos de las estaciones con los periodos de registro más amplios, en cuyos casos el valor de la pendiente fue de 0.55 para la 14066 Guadalajara y de 0.964 para la 14016 Atequiza.

Por último, para el índice de días consecutivos con lluvia (CWD) se observó una tendencia contraria al CDD, pues en el CWD se pudo apreciar una disminución en el número de días consecutivos con lluvia en 77% de las estaciones; cabe mencionar que la magnitud para este índice fue

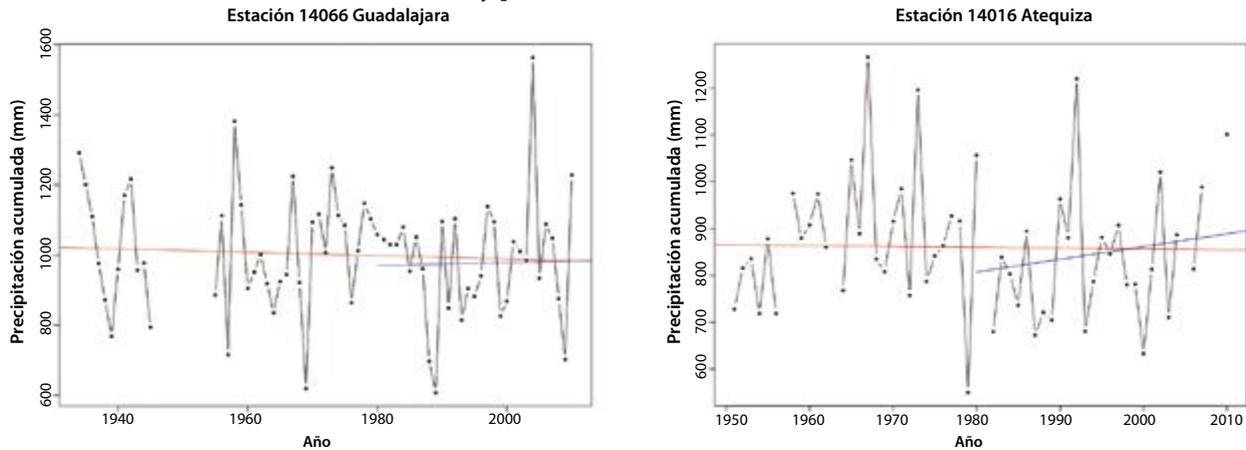
pequeña, ya que ésta se encontró, en promedio para las 48 estaciones, en -0.3 días en un periodo de 10 años.

De forma similar, en el cuadro 4 se presenta un resumen con los estadísticos descriptivos de la tendencia observada en los índices de precipitación calculados para el periodo común de registros comprendido entre 1980 y el 2010, el cual permite analizar y comparar el comportamiento de la precipitación en los últimos años entre las 48 estaciones bajo estudio. Se puede ver que el índice de precipitación total, de manera contraria a lo encontrado para el lapso completo de registros, no muestra una tendencia bien definida, ya que en los resultados para este índice se aprecia que en 54% de los casos fue positiva, mientras que en el resto se observó una negativa.

La magnitud de la tendencia promedio para las 48 estaciones analizadas fue de 0.72 mm/año, misma que para las que tenían la condición más extrema pudieron llegar a ser de -5.66 mm/ en el caso de las tendencias negativas y de 11.72 mm/año, para las positivas.

Gráfica 2

Tendencia observada en el índice PRCPTOT para el periodo completo de registro y para el común 1980-2010



Al igual que para el periodo completo de registros, en la gráfica 2 se puede apreciar la tendencia para el índice de precipitación total cuando es calculado para el lapso 1980-2010, observándose una tendencia opuesta a la mencionada con anterioridad para el periodo completo de registros, ya que para el de 1980-2010 el valor de la pendiente para dicho índice fue de 1.497 mm/año para la estación 14066 Guadalajara y de 0.777 mm/año para la 14016 Atequiza.

En el caso de los índices SDII, RX1DAY y CWD, los resultados fueron muy parecidos a los observados para el periodo completo de registro; se encontró

que la magnitud promedio de la tendencia para las 48 estaciones fue de 0.04 mm/día, 0.39 mm/día y -0.04 días/año, respectivamente, mientras que en el caso de la tendencia dominante se observó 77% de tendencias positivas para el SDII y 73% para el RX1DAY, así como 67% de negativas para el CWD.

Por su parte, el CDD calculado para el periodo 1980-2010 refuerza lo observado para el lapso completo de registros, pues en este caso se encontró que 85% de las tendencias fueron positivas, con una tendencia promedio para las estaciones bajo análisis de 1.16 días/año, lo cual implica que en un

Cuadro 4

Estadísticos descriptivos de la tendencia observada en los índices de precipitación calculados para el periodo 1980-2010

Estadístico	PRCPTOT (mm/año)	SDII (mm/d)	RX1DAY (mm/d)	CDD (días/año)	CWD (días/año)
Mínima	-5.66	-0.11	-0.59	-0.97	-0.23
Máxima	11.72	0.41	3.75	4.5	0.14
Media	0.72	0.04	0.39	1.16	-0.04
Desviación típica	4.22	0.09	0.80	1.09	0.07
Tendencias negativas	22	11	13	7	32
Tendencias positivas	26	37	35	41	16
Tendencias significativas a 5%	1	9	3	5	3
Tendencias significativas a 10%	2	0	2	4	6

periodo de 10 años se tendría un aumento en la cantidad de días acumulados secos de 10 días en el promedio general, mientras que para la estación con las condiciones más severas el incremento podría llegar a ser de casi cinco por año. En la gráfica 3 se muestran dos ejemplos del comportamiento de este índice, donde se ve que, para la estación 14066 Guadalajara, la tendencia observada en los últimos 30 años fue de 0.562 (valor muy parecido al observado para el periodo completo de registros), mientras que en el caso de la estación 14016 Atequiza se aprecia un valor de la pendiente de este índice de 1.838, el cual corresponde prácticamente al doble del valor observado en el análisis para el periodo completo de registros.

En cuanto a la distribución espacial de las tendencias, en los mapas 1 y 2 se presenta la distribución geográfica de la de los índices PRCPTOT y CDD, ya que éstos fueron los que mostraron las tendencias más importantes. En los mapas se tiene como fondo una interpolación realizada a partir del coeficiente de variación de la precipitación para el periodo completo de registros, lo cual se hizo con el propósito de identificar si las tendencias de mayor magnitud se encontraban asociadas a regiones donde la variabilidad en el comportamiento de la precipitación era muy alta.

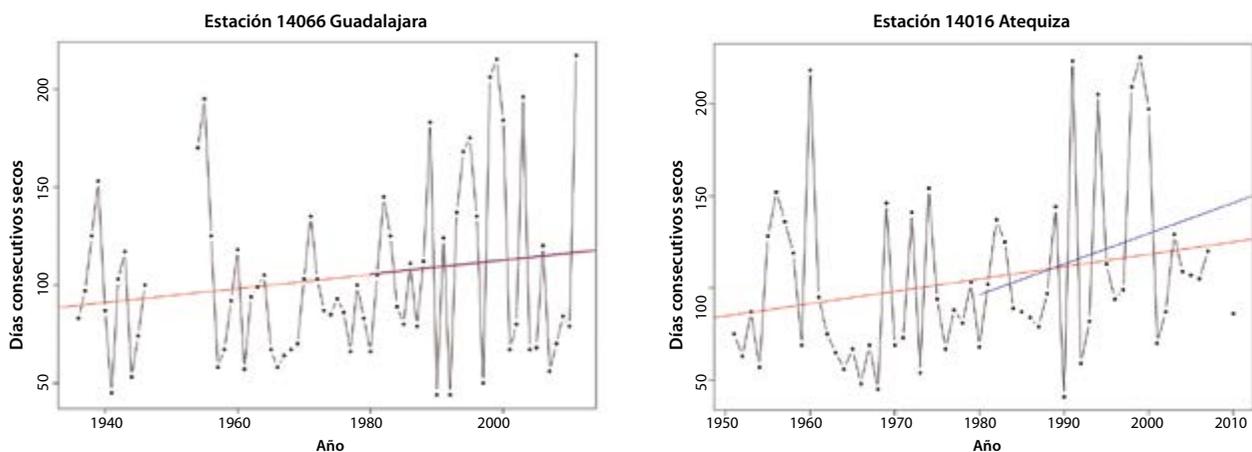
Además, en ambos mapas se presentan de manera superpuesta las tendencias encontradas para el periodo completo de registros, así como la observada para el de 1980-2010. En el mapa 1 se puede apreciar para el periodo completo de registros que las tendencias tanto negativas como positivas se encuentran distribuidas sobre todo el territorio del estado sin mostrar un patrón bien definido que permita regionalizar la ocurrencia de algún tipo de tendencia. En el mismo sentido, en el caso de la distribución de las tendencias para el lapso 1980-2010 se observa una distribución balanceada de las tendencias positivas y negativas al interior de la entidad, aunque se destacan hacia el centro y sur de la zona una serie de estaciones que cambiaron el signo de su tendencia al ser analizadas solo para los últimos 30 años de registros.

Por otro lado, para el CDD, en el mapa 2 se puede apreciar (tanto para el periodo completo de registros como para el de 1980-2010) la dominancia de la tendencia positiva a lo largo de todo el estado de Jalisco, ya que las negativas son apenas algunos casos registrados en la parte sur del estado.

Para el CDD fueron pocos los casos donde se observó un cambio en el signo de la tendencia al realizar el análisis solo para los últimos 30 años de

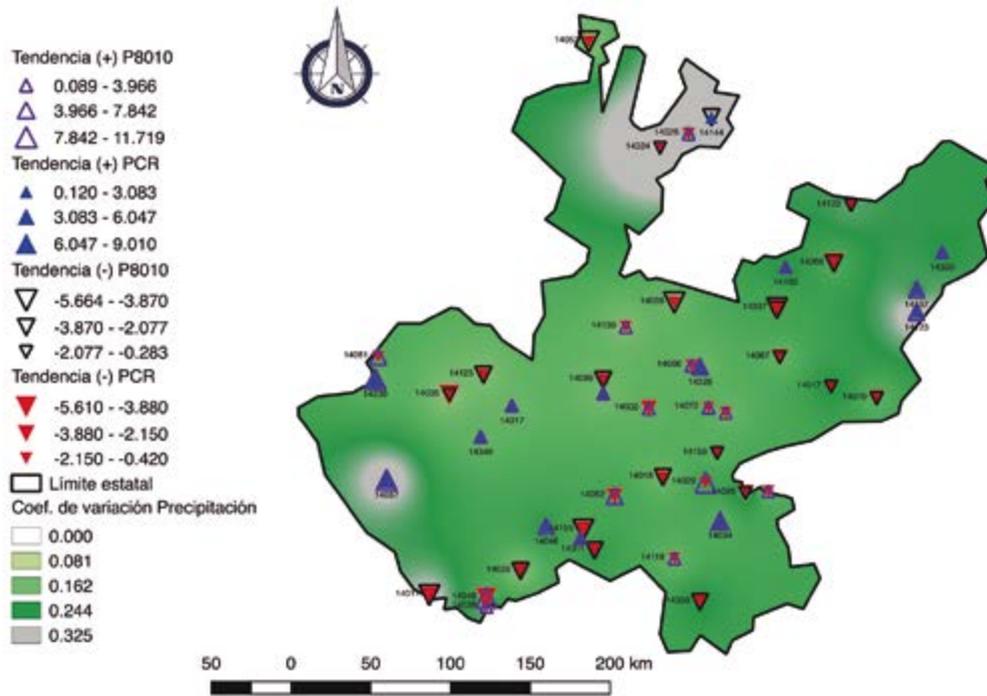
Gráfica 3

Tendencia observada en el índice CDD para el periodo completo de registro y para el común 1980-2010



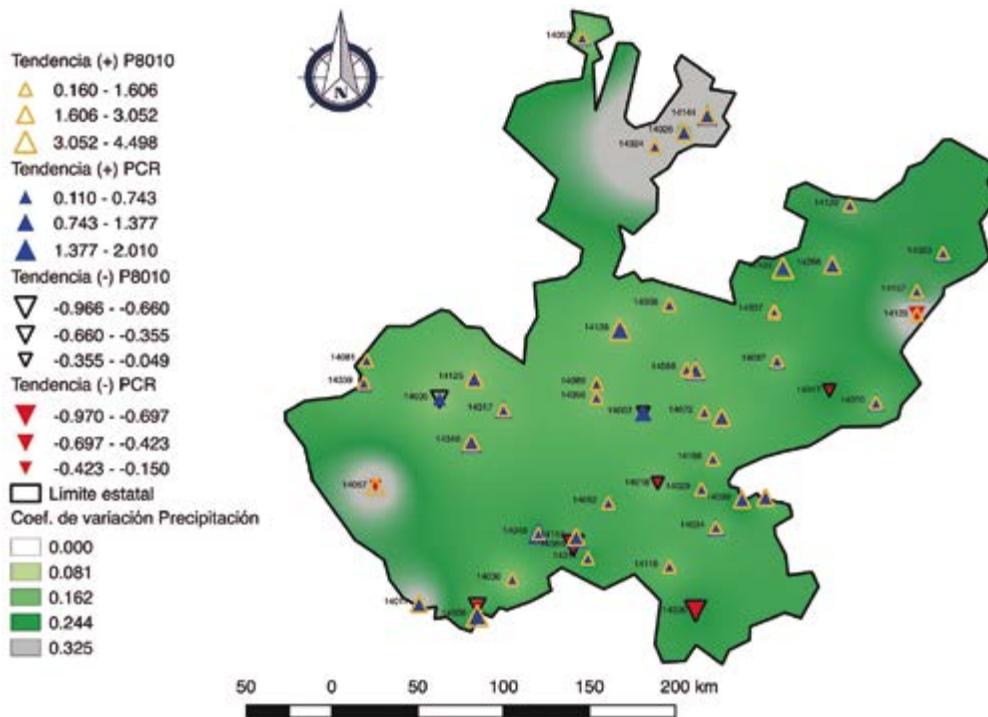
Mapa 1

Distribución espacial de la tendencia del índice PRCPTOT para el periodo completo de registro y para el común 1980-2010



Mapa 2

Distribución espacial de la tendencia del índice CDD para el periodo completo de registro y para el común 1980-2010



registros, ya que este comportamiento se encontró únicamente en dos estaciones donde hubo un cambio de tendencia de positiva a negativa; en otras dos estaciones, la tendencia fue inversa.

Discusión

El control de calidad y la homogenización de las series temporales del clima es un proceso previo, ineludible y clave al uso de los datos, el cual nos asegura que los resultados alcanzados por los diversos estudios climáticos son suficientemente robustos como para poder confiar en ellos (Brunet, 2010). A nivel mundial se ha reconocido que la disponibilidad de bases de datos globales y de calidad son aún insuficientes para llevar a cabo estudios relacionados con la detección del cambio climático (Frich *et al.*, 2002; Vincent *et al.*, 2005).

En el caso particular de México, Gay *et al.* (2000) señalan que, aunque la temperatura y la precipitación se han registrado de manera más o menos regular en nuestro país, las series distan mucho de ser las óptimas para realizar estudios tendientes a estimar de forma confiable lo ocurrido durante el siglo XX. En este sentido, los resultados de la prueba de homogeneidad aplicada a las series de precipitación de las estaciones ubicadas en el estado de Jalisco confirman esta problemática, ya que del total de las ubicadas dentro de la entidad, solo 48 fueron utilizadas en este trabajo debido a problemas de calidad y completitud de la información disponible. En cuanto a la calidad de la información, el principal problema detectado es la falta de homogeneidad de los registros, la cual no se puede corregir de manera confiable debido a que, en la mayor parte de los casos, no se cuenta con metadatos disponibles para homogeneizar las series, como ya ha sido señalado por Gay *et al.* (2000).

La tendencia de los índices de precipitación parece confirmar lo señalado por Greenpeace (2010) y el INECC (2016) en el sentido de que en Jalisco se puede esperar una disminución de la precipitación en el mediano y largo plazos. Los principales

índices que apoyan esta hipótesis son el PRCPTOT y el índice de días consecutivos secos.

La tendencia a la disminución coincide con lo reportado por Ruiz (1998) —citado por Ruiz *et al.* (2000)—, quien informa que la precipitación anual en Jalisco disminuyó de 33.22 mm como promedio estatal para el periodo 1947-1996, además de lo encontrado por Méndez *et al.* (2008) en su estudio realizado sobre la tendencia de la precipitación a nivel nacional, donde señalan que la disminución más notable en las lluvias se registra en la región que denominaron como costas centrales del Pacífico mexicano, ubicada en Jalisco.

Cabe destacar, sobre todo en el caso del PRCPTOT, que la tendencia a la disminución se observa cuando el análisis se lleva a cabo para el periodo completo de registros, ya que los resultados para el de 1980-2010 no muestran una tendencia clara. Lo anterior puede ser por la alta variabilidad que presenta la precipitación, además de la corta longitud de los registros pues, como lo señala la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2011), 30 años no suelen constituir un periodo óptimo de análisis para la precipitación. Este resultado indica la importancia de tomar en cuenta en los estudios enfocados al análisis del comportamiento de la precipitación a las series completas de datos, incluso cuando entre las distintas estaciones no se cuenta con un periodo común de registros.

Conclusiones

Las series de precipitación del estado de Jalisco presentan algunos problemas relacionados con su calidad, ya que la mayor parte de ellas muestran inconsistencias en cuanto a la homogeneidad de los registros históricos, problema que ha sido detectado y documentado en diversos estudios tanto a nivel nacional como internacional. Lo anterior pone de manifiesto la necesidad de llevar a cabo proyectos enfocados a la recuperación de información que permita realizar el proceso de homogenización de dichas series y, con ello, ampliar la cobertura de los análisis tanto en el espacio como en el tiempo.

La tendencia de los índices de precipitación analizados apoya las proyecciones de cambio climático señaladas por Greenpeace (2010) y el INECC (2016), sobre todo para los de precipitación total anual y de días consecutivos secos, encontrando una tendencia a la disminución en 71% de los casos para el primero (de acuerdo con el periodo completo de registros), así como una al aumento en 85% para el segundo. Aunque en ambos casos se debe tomar en cuenta que la cantidad de series analizadas fue de solo 48 para todo el estado y que, de ellas, la cantidad de tendencias estadísticamente significativas fue baja.

Los resultados plantean la necesidad de trabajar en la planeación de estrategias enfocadas a reducir o evitar problemas relacionados con la disminución de la precipitación y con el aumento del número de días secos, ya que este tipo de situaciones puede generar impactos importantes en los sectores social y productivo.

Fuentes

Aguilar E., I. Auer, M. Brunet, T. C. Peterson and J. Wieringa. *Guidelines on climate metadata and homogenization*. WCDMP No. 53, WMO-TD No. 1186. Switzerland, World Meteorological Organization, 2003.

Auer, I., R. Böhm, A. Jurković, A. Orlik, R. Potzmann, W. Schöner, M. Ungersböck, M. Brunetti, T. Nanni, M. Maugeri, K. Briffa, P. Jones, D. Efthymiadis, O. Mestre, J. M. Moisselin, M. Begert, R. Bradzil, O. Bochnicek, T. Cegnar, M. Gagić-Čapka, K. Zaninović, Z. Majstorović, S. Szalai, T. Szentimrey and M. Mercalli. "A new instrumental precipitation dataset for the greater Alpine region for the period 1800-2002", en: *International Journal of Climatology*. 25: 139-166, Wiley, 2005.

Brunet, I. M. "Datos e indicadores para detectar y atribuir eventos al cambio climático: los registros históricos del clima y su problemática", en: *Realidad, Datos y Espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía*. 1-1: 19-27. México, INEGI, 2010.

Burgos, F. Y. y G. I. González. "Análisis de indicadores extremos climáticos en la isla de Cuba", en: *Revista de Climatología*. 12: 81-91. España, 2012.

Frich, P., L. V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Klein Haylock, A. M. G. Tank and T. Peterson. "Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century", en: *Climate Research Journal*. 19: 193-212. Inter-Research, 2002.

Gay, G. C., P. F. Estrada y L. B. Martínez. "Cambio climático y estadística oficial", en: *Realidad, Datos y Espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía*. 1-1: 1-6. México, INEGI, 2010.

Greenpeace. "Jalisco y el cambio climático", en: Greenpeace. 2010 (DE) consultado el 3 de agosto de 2016 en <http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2010/5/jalisco-y-el-cambio-climatico.pdf>

Houghton J. "Global Warming", en: *Reports on Progress in Physics*. 68: 1343-1403. IOPscience, 2005.

INECC. *El cambio climático en México: información por estado y por sector*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2016 (DE) consultado el 3 de agosto de 2016 en http://www2.inecc.gob.mx/climatico/edo_sector/estados/jalisco.html

IPCC. "Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability- Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", en: *Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2007.

Magaña V., C. Conde, O. Sánchez and C. Gay. "Assessment of current and future regional climate scenarios for Mexico", en: *Climate Research*. 9: 107-114. Inter-Research, 1997.

Magaña, R. V. (ed.). *Los impactos del niño en México*. México, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Gobernación, 2004.

Martínez, A. P. F. *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México*. México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2007.

Méndez, G. J. "Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México", en: *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 65: 38-55. UNAM, 2008.

OMM. *Guía de prácticas climatológicas*. Suiza, Organización Meteorológica Mundial, 2011.

Peterson T. C., C. Folland, G. Gruza, W. Hogg, A. Mokssit and N. Plummer. *Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001*. WCDMP-47, WMO-TD 1071. Switzerland, WMO, 2001.

Prabhakar S. V. R. K., R. Shaw. "Climate change adaptation implications for drought risk mitigation: a perspective for India", en: *Climatic Change*. 88: 113-130. Springer, 2008.

Ruiz C. J. A., D. J. L. Ramírez, M. F. J. Flores y G. J. J. Sánchez. "Cambio climático y su impacto sobre la estación de crecimiento de maíz en Jalisco, México", en: *Revista Fitotecnia Mexicana*. 23-2: 169-181. Sociedad Mexicana de Fitogenética, 2000.

Sen, P. K. "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau", en: *Journal of American Statistical Association*. 63: 1379-1389, American Statistical Association, 1968.

Servicio Meteorológico Nacional. Información climatológica. Servicio Meteorológico Nacional, 2015 (DE) consultado el 20 de julio de 2015 en http://smn.cna.gob.mx/es/?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75

Vázquez-Aguirre, J. L. *Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México*. México, Instituto Nacional de Ecología, 2010.

Vincent, L. A., T. C. Peterson, V. R. Barros, M. B. Marino, M. Rusticucci, G. Carrasco, E. Ramirez, L. M. Alves, T. Ambrizzi, M. A. Berlato, A. M. Grimm, J. A. Marengo, L. Molion, D. F. Moncunill, E. Rebello, Y. M. T. Anunciação, J. Quintana, J. L. Santos, J. Baez, G. Coronel, J. Garcia, I. Trebejo, M. Bidegain, M. R. Haylock and D. Karoly. "Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000", en: *J Climate*. 18: 5011-5023. American Meteorological Society, 2005.

Wang X., H. Chen, Y. Wu, Y. Feng, Q. Pu. "New techniques for detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series", en: *J Appl Meteor Climatol*. 49: 2416-2436. 2010.

Zhang X., E. Aguilar, S. Sensoy, H. Melkonyan, U. Tagiyeva, N. Ahmed, N. Kutaladze, F. Rahimzadeh, A. Taghipour, T. H. Hantosh, P. Albert, M. Semawi, M. K. Ali, M. H. S. Al-Shabibi, Z. Al-Oulan, T. Zafari, I. A. D. Khelet, S. Hamoud, R. Sagir, M. Demircan, M. Eken, M. Adiguzel, L. Alexander, T. C. Peterson and T. Wallis. "Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003", en: *Journal Geophysical Research*. 110: D22104, Wiley, 2005.

Apéndice

Metodología para el análisis de la calidad de los datos con *Rclimdex*

Rclimdex es una rutina que corre sobre la plataforma de análisis estadístico *R* que se enfoca en el control de calidad y cálculo de índices de cambio climático. Para su ejecución, es necesario verificar que dentro de la plataforma *R* se tenga instalado y activo el paquete *tkrplot*. Una vez hecho esto, se carga la interfaz gráfica de *Rclimdex* —con la orden: `source("RclimDex.r")`—; dentro de ella, la primera opción que aparece es la necesaria para cargar los datos y correr el análisis de calidad de los mismos. Al activarla, se abrirá el explorador de navegación para elegir el archivo que contiene los datos por analizar. Los datos deben estar en el formato *Rclimdex*, el cual consiste en un archivo de seis columnas sin encabezados en las que se colocan en el orden indicado año (YYYY), mes (MM), día (DD), precipitación (en mm), temperatura máxima (en °C) y temperatura mínima (en °C); los valores faltantes se codifican con -99.9. Si los datos contenidos en el archivo se encuentran en el formato correcto, el sistema enviará un mensaje indicando que se han

cargado de forma correcta y señalando que se continuará con el análisis de calidad. Como resultado de la ejecución de la rutina se crea una carpeta denominada *log* en la que se encuentran los resultados del análisis realizado.

Metodología para realizar la prueba de homogeneidad con el paquete *RHTest*

Dentro de la plataforma *R* se manda llamar la rutina bajo la instrucción: `source("RhtestV3.r")`, seguida del comando `StartGUI()`, con lo cual se abrirá una interfaz gráfica donde se encuentra el menú principal de *RHTest*.

Dentro de la prueba de homogeneidad de las series se recomienda comenzar el análisis a escala mensual; para ello, el siguiente paso dentro del análisis consiste en realizar la transformación de datos diarios a mensuales para lo que se utiliza la opción *Transform data* del menú principal.

Con el fin de realizar la prueba de homogeneidad se debe seleccionar la función que se utilizará para realizar la prueba de los datos; para ello, la rutina cuenta con las siguientes opciones:

- *FindU* para probar la homogeneidad de las series mensuales sin utilizar series de referencia.
- *FindU.wRef* para probar la homogeneidad de las series mensuales utilizando series de referencia.
- *FindUD* para probar la homogeneidad de las series diarias sin utilizar series de referencia.
- *FindUD.wRef* para probar la homogeneidad de las series diarias utilizando series de referencia.

Como resultado de la ejecución de la función elegida se creará una serie de archivos con las denominaciones *No. Estación_prcpMPLY_mCs.txt*, *No. Estación_prcpMPLY.txt* y *No. Estación_prcpMPLY_U.txt*, en caso de que el análisis se haya realizado a escala mensual. El archivo que contiene la información sobre los puntos de cambio que hacen sospechar que la serie no es homogénea es el denominado: *No. Estación_prcpMPLY_mCs.txt*.