

METODOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL ATLAS CLIMÁTICO DIGITAL DE MÉXICO PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE ALTA RESOLUCIÓN

METHODOLOGIES USED IN THE DIGITAL CLIMATIC ATLAS OF MEXICO FOR GENERATING HIGH-RESOLUTION MAPS

Agustín Fernández Eguiarte¹, Rosario Romero Centeno¹ y Jorge Zavala Hidalgo¹

¹Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria, DF, México.
E-mail: agustin@unam.mx

RESUMEN

Se describen las metodologías empleadas para procesar los datos de más de 5200 estaciones meteorológicas de la base climatológica diaria del Servicio Meteorológico Nacional de México (1902-2011), conjuntamente con los datos de la base climática *WorldClim-Global Climate Data* 1950-2000, con el objeto de generar las superficies climáticas mensuales de alta resolución espacial (926 m) que integran el Atlas Climático Digital de México (ACDM). Se explican los procedimientos desarrollados para llevar a cabo el control de calidad de los datos y para la estructuración de bases de datos georreferenciadas de variables climáticas, sus procesos de validación, el establecimiento de metadatos y su estructuración en estándares internacionales, así como la visualización de los datos mediante composiciones cartográficas. Las variables climáticas incluidas son: temperatura, precipitación, valores extremos absolutos, parámetros bioclimáticos y sequía meteorológica.

Palabras claves: Cartografía climática, variables climatológicas, climatología extrema, sequía meteorológica, parámetros bioclimáticos.

ABSTRACT

The methodologies used to generate the monthly, high spatial resolution (926 m) climate maps that are incorporated into the Digital Climatic Atlas of Mexico (abbreviated to ACDM in Spanish) are described. These include the processing of data from more than 5200 weather stations feeding the daily climatological database of the Mexican National Weather Service covering the period 1902-2011 together with data covering the period 1950-2000 from the WorldClim-Global Climate Database. The procedures developed to perform data quality control and to structure geo-referenced databases of climate variables, as well as the validation processes and the establishment of metadata and data visualization through cartographic compositions, are explained. The climatic variables included are: temperature, precipitation, absolute extreme values, bioclimatic parameters, and meteorological drought.

Keywords: Climatic cartography, climatic variables, extreme climatology, meteorological drought, bioclimatic parameters

INTRODUCCIÓN

El Atlas Climático Digital de México (ACDM) de (Fernández et al., 2013) es el proyecto central de la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS) del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). El ACDM tiene el propósito de poner a disposición de una gran diversidad de usuarios de los sectores educativos, de investigación, público y privado, mapas, bases de datos y metadatos que contengan información sobre distintas variables climáticas. Asimismo, pretende apoyar a los tomadores de decisiones en el diseño de políticas encaminadas a reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad de adaptación ante el cambio climático y los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos extremos en diferentes regiones geográficas. En este sentido, el ACDM constituye una

aportación de desarrollo tecnológico en el campo de la Cartografía Geocientífica Interactiva en Internet en materia de clima, reanálisis, cambio climático y climatología oceánica, con potencial para incorporar otras temáticas.

Como parte de un proyecto entre el CCA y el Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN), se creó en UNIATMOS el libro electrónico Atlas Climático de México y Áreas Adyacentes, Volumen 1 (Fernández et al., 2012) cuyos productos se describen en el presente trabajo, incluyendo las metodologías desarrolladas para integrar las bases de datos de *WorldClim-Global Climate Data* (Hijmans et al., 2005) con los datos de más de 5,200 estaciones meteorológicas de la Base Climatológica Diaria (BCD) del SMN. Los datos de la BCD, la cual abarca el período 1902-2011, se sometieron a un control de calidad para posteriormente generar y validar superficies climáticas georreferenciadas con resolución temporal mensual y muy alta resolución espacial (926 m). Los procesos metodológicos descritos corresponden a las variables: temperatura, precipitación, parámetros bioclimáticos, climatología extrema y sequía meteorológica.

A partir de las bases de datos generadas, se elaboraron mapas temáticos a través de un proceso geomático integral que va desde el control de calidad de los datos, la estructuración y validación de las superficies climáticas en formatos GeoTiff y txt, y el desarrollo de metadatos en formatos html y xml conforme al estándar internacional Federal Geographic Data Committee (FGDC), hasta la elaboración y el despliegue interactivo de los mapas en Internet. Debido a su muy alta resolución espacial, el despliegue de los mapas cubre las escalas nacional, estatal, municipal y regional.

ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y LA BASE WORLDCLIM-GLOBAL CLIMATE DATA

De la BCD del SMN, publicada y consultada en junio de 2011 (SMN, 2011), se obtuvieron 5227 estaciones con datos de temperatura máxima, 5225 con temperatura mínima y 5320 con precipitación. El procesamiento de los datos de la BCD incluyó una metodología para el control de calidad de éstos. De la base *WorldClim-Global Climate Data* (1950-2000) se obtuvieron los promedios mensuales de temperatura máxima, mínima y precipitación.

A partir de la BCD del SMN y de la base *WorldClim* se generaron nuevas bases de datos mensuales de temperatura máxima, mínima y de precipitación, con muy alta resolución espacial (926 m) y considerando el efecto topográfico utilizando el modelo digital de elevación Shuttle Radar Topography Mission (SRTM, 2005). Asimismo, se generaron superficies de parámetros bioclimáticos, de climatología extrema y de períodos de sequía meteorológica.

CONTROL DE CALIDAD Y GENERACIÓN DE BASES DE DATOS CLIMÁTICOS MENSUALES

Con los datos de la BCD se calcularon los promedios mensuales de temperatura máxima y mínima, así como los valores de la precipitación acumulada mensual considerando únicamente las estaciones que tuvieron más del 90% de los datos diarios de precipitación por mes.

MES	Diferencias antes del control de calidad			Diferencias después del control de calidad		
	Número de Estaciones	MEDIA	D_STD	Número de Estaciones	MEDIA	D_STD
ENE	5185	0.10	1.89	4921	0.10	1.43
FEB	5227	-0.09	1.94	4898	-0.06	1.47
MAR	5180	0.04	1.99	4896	0.08	1.52
ABR	5182	-0.11	2.02	4882	-0.08	1.52
MAY	5177	-0.02	2.05	4872	0.11	1.52
JUN	5181	-0.03	2.01	4877	-0.03	1.47
JUL	5179	-0.06	1.94	4903	-0.04	1.42
AGO	5182	-0.20	1.92	4910	-0.19	1.40
SEP	5184	-0.07	1.87	4908	-0.05	1.36
OCT	5180	-0.03	1.86	4911	-0.00	1.39
NOV	5179	0.06	1.87	4905	0.09	1.41
DIC	5178	0.09	1.88	4905	0.09	1.42

Tabla 1. Media y desviación estándar de las diferencias de temperatura máxima mensual entre el valor de la estación del SMN y el valor correspondiente en la superficie climática de la base WorldClim, antes y después del control de calidad.

Table 1. Mean and standard deviation of the monthly maximum temperature differences between the value of the SMN station and the corresponding value on the WorldClim climatic surface, before and after the quality control.

Considerando las diferencias entre los promedios mensuales de temperatura y precipitación de cada estación y el valor correspondiente en la superficie climática de la base *WorldClim*, se eliminaron aquellas estaciones cuyos valores estuviesen por encima o por debajo de la media ± 2 desviaciones estándar para cada variable en el mes correspondiente.

MES	Diferencias antes del control de calidad			Diferencias después del control de calidad		
	Número de Estaciones	MEDIA	D_STD	Número de Estaciones	MEDIA	D_STD
ENE	5182	-0.06	2.09	4919	-0.10	1.65
FEB	5184	-0.16	2.06	4912	-0.22	1.63
MAR	5181	-0.16	2.03	4903	-0.20	1.59
ABR	5183	-0.37	2.04	4912	-0.42	1.59
MAY	5177	-0.27	1.99	4901	-0.28	1.50
JUN	5181	-0.34	1.91	4904	-0.31	1.36
JUL	5179	-0.31	1.82	4906	-0.28	1.26
AGO	5182	-0.33	1.80	4908	-0.30	1.25
SEP	5184	-0.35	1.76	4908	-0.33	1.25
OCT	5181	-0.24	1.83	4915	-0.26	1.37
NOV	5179	-0.13	2.01	4916	-0.15	1.57
DIC	5178	-0.11	2.11	4896	-0.15	1.64

Tabla 2. Media y desviación estándar de las diferencias de temperatura mínima mensual entre el valor de la estación del SMN y el valor correspondiente en la superficie climática de la base *WorldClim*, antes y después del control de calidad.

Table 2. Mean and standard deviation of the monthly minimum temperature differences between the value of the SMN station and the corresponding value on the *WorldClim* climatic surface, before and after the quality control.

MES	Diferencias antes del control de calidad			Diferencias después del control de calidad		
	Número de Estaciones	MEDIA	D_STD	Número de Estaciones	MEDIA	D_STD
ENE	5307	0.67	17.38	5159	-0.21	8.59
FEB	5307	0.97	14.91	5199	0.19	6.65
MAR	5307	-0.02	15.26	5186	-0.59	6.60
ABR	5307	-0.01	16.16	5177	0.80	6.60
MAY	5307	-1.86	23.85	5129	-2.59	12.38
JUN	5307	-4.87	41.93	5027	-4.78	24.74
JUL	5307	-2.71	51.44	5073	-3.09	28.64
AGO	5307	-1.24	50.17	5048	-1.98	29.25
SEP	5307	-3.17	52.24	5034	-3.66	30.77
OCT	5307	2.04	37.97	5078	0.64	20.34
NOV	5307	1.39	22.57	5133	0.08	10.19
DIC	5307	0.01	19.78	5183	-1.58	10.31

Tabla 3. Media y desviación estándar de las diferencias de precipitación acumulada mensual entre el valor de la estación del SMN y el valor correspondiente en la superficie climática de la base *WorldClim*, antes y después del control de calidad.

Table 3. Mean and standard deviation of the monthly accumulated precipitation differences between the value of the SMN station and the corresponding value on the *WorldClim* climatic surface, before and after the quality control.

Con la finalidad de evaluar el control de calidad de los datos, se calculó la media y la desviación estándar mensual de las diferencias con la base *WorldClim* considerando la totalidad de las estaciones de la BCD y considerando las estaciones restantes después de aplicar dicho control de calidad. En las Tablas 1, 2 y 3 se observa que la media prácticamente se conservó igual, mientras que la desviación estándar disminuyó apreciablemente en las tres variables.

Considerando las diferencias obtenidas con el conjunto depurado de estaciones se realizaron interpolaciones, mediante los métodos Kriging, Spline y Distancias Inversas a las potencias 1 y 2 (IDW^1 e IDW^2), para generar mallas con resolución espacial de 926 m que se sumaron a las respectivas mallas mensuales de *WorldClim*. De esta forma se incorpora el efecto topográfico y se generan las nuevas bases de datos climáticos georreferenciados en formatos GeoTiff y txt, complementando, al mismo tiempo, las regiones de Centroamérica y el sur de los Estados Unidos con la propia base *WorldClim*.

ANÁLISIS DE LAS BASES DE DATOS CLIMÁTICOS MENSUALES

Con el objeto de validar las superficies climáticas generadas con los diferentes métodos de interpolación, se calcularon las diferencias entre el valor de las celdas en la superficie dada y el de la estación o las estaciones de la BCD localizadas en la celda correspondiente, considerando sólo aquellas estaciones con más de treinta años de registros.

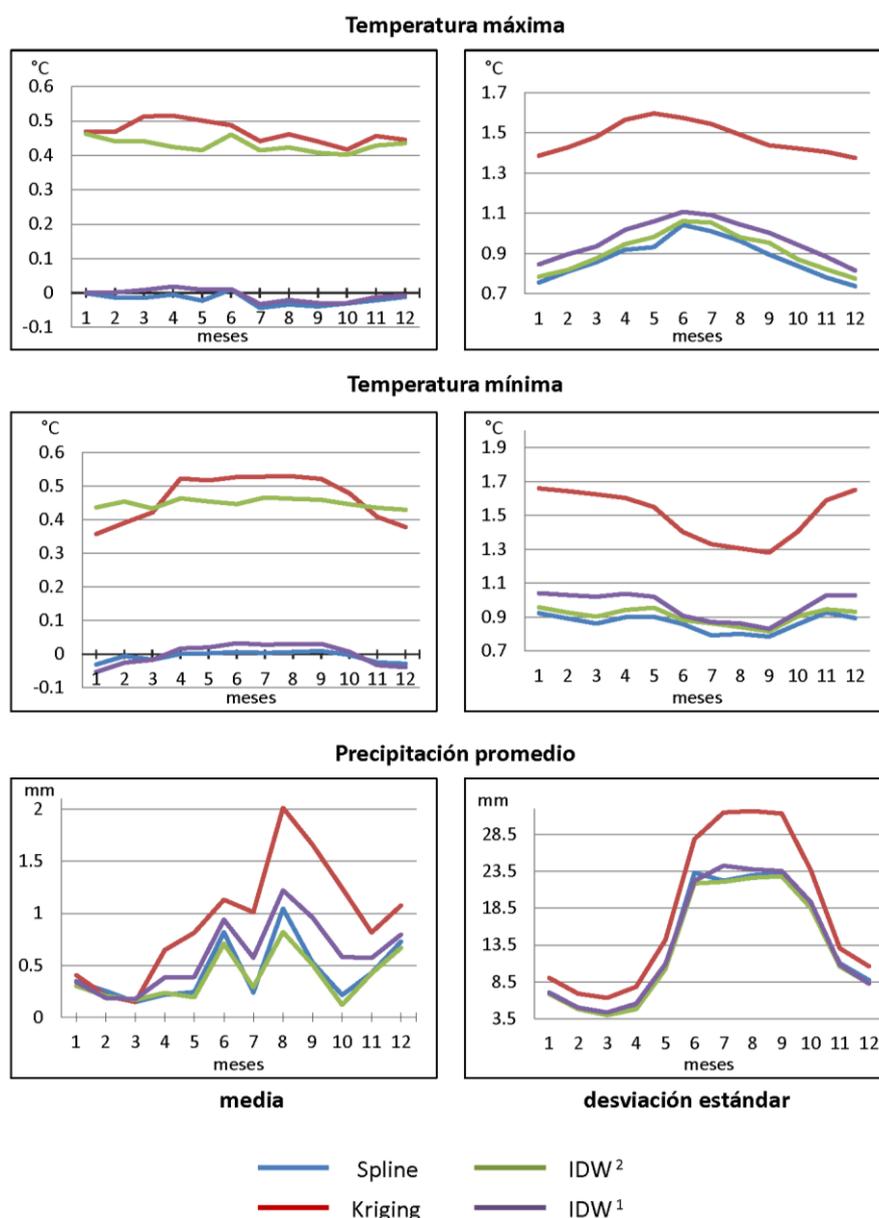


Figura 1. Media y desviación estándar de las diferencias entre estaciones con más de 30 años de registros y las bases de datos generadas mediante 4 métodos de interpolación.

Figure 1. Mean and standard deviation of the differences between stations with more than 30 years of data records and the data bases generated using four interpolation methods.

La Figura 1 muestra la media y la desviación estándar de dichas diferencias y se observa que los métodos Spline e IDW^1 son sensiblemente mejores que los métodos Kriging e IDW^2 . También se observa que la

interpolación mediante Spline se ajusta ligeramente mejor a los valores de las estaciones que con el método IDW¹, sin embargo, se optó por IDW¹ por generar las superficies con mejor continuidad entre las estaciones.

Las bases de datos o superficies climáticas referidas, se encuentran disponibles a través de la opción "Bases de datos" del ACDM así como sus respectivos metadatos. A partir de dichas bases de datos, se desarrollaron composiciones cartográficas mensuales que se pueden visualizar mediante las facilidades interactivas del ACDM: Servidor de mapas, Mapas en línea, KML y Servicio WMS.

DESARROLLO Y ANÁLISIS DE BASES DE DATOS DE CLIMATOLOGÍA EXTREMA ABSOLUTA

Temperaturas máxima y mínima extremas absolutas

La base de datos de temperatura máxima extrema absoluta se desarrolló a partir de los datos de temperatura máxima extrema absoluta de la BCD y de las bases de datos de temperaturas máximas mensuales (BTMAX) referidas en el apartado CONTROL DE CALIDAD Y GENERACIÓN DE BASES DE DATOS CLIMÁTICOS MENSUALES del presente artículo. La base de datos de temperatura mínima extrema absoluta se desarrolló de manera análoga, con los datos correspondientes a las temperaturas mínimas.

Precipitación extrema acumulada mensual

La base de datos de precipitación extrema acumulada mensual se generó a partir de los datos de precipitación de la BCD, con los que se determinó la precipitación máxima acumulada mensual por estación, en conjunto con la base de datos de precipitaciones acumuladas mensuales, referidas en el apartado CONTROL DE CALIDAD Y GENERACIÓN DE BASES DE DATOS CLIMÁTICOS MENSUALES del presente artículo.

Generación de las bases de datos de climatología extrema absoluta

La base de datos de temperatura máxima extrema absoluta se generó mediante el siguiente proceso: Se obtuvo la diferencia entre los valores de la BCD y el valor del pixel correspondiente sobre la base BTMAX. Se truncaron los valores mayores y menores a la media de la distribución ± 2 veces su desviación estándar. Se interpolaron los valores restantes mediante el método IDW¹ y la malla resultante se sumó a la capa de BTMAX. De este modo se obtuvo la superficie de temperatura máxima extrema absoluta, con alta resolución espacial y considerando el efecto topográfico.

Para el caso de la temperatura mínima extrema absoluta y de la precipitación extrema acumulada mensual, se realizó un proceso similar.

Análisis de las bases de datos de climatología extrema absoluta

De las bases de datos de temperatura máxima, mínima y precipitación extrema absoluta, se obtuvo el valor de la celda correspondiente a las coordenadas geográficas de cada una de las estaciones de la BCD con más de 30 años de registros. Se calculó la diferencia entre el valor de las celdas y los datos de las estaciones correspondientes. Los histogramas de las Figuras 2, 3 y 4 muestran la distribución de dichas diferencias, indicando la media, la desviación estándar, el error cuadrático medio, la mediana y la moda de las distribuciones, cantidades que permiten cuantificar la calidad de las superficies de climatología extrema absoluta.

DESARROLLO Y CONTROL DE CALIDAD DE LAS BASES DE DATOS DE PARÁMETROS BIOCLIMÁTICOS

Los parámetros bioclimáticos son de utilidad para estudiar la relación entre el clima y la distribución de los seres vivos (Rivas, 2002). A partir de la BCD, y mediante un control de calidad de los datos por estación meteorológica, se calcularon 19 parámetros bioclimáticos conforme a la metodología de la Australian National University (ANU, 2012), también utilizada en *WorldClim*. Las 19 bases de datos de parámetros bioclimáticos generadas son: Temperatura media anual, Rango de temperatura media diurna, Isotermalidad, Estacionalidad de la temperatura, Temperatura máxima del mes más cálido, Temperatura mínima del mes más frío, Rango de temperatura anual, Temperatura promedio del trimestre más lluvioso, Temperatura promedio del trimestre más seco, Temperatura promedio del trimestre más cálido, Temperatura promedio del trimestre más frío, Precipitación anual, Precipitación del mes más lluvioso, Precipitación del mes más seco, Estacionalidad de la precipitación, Precipitación del trimestre más lluvioso, Precipitación del trimestre más seco, Precipitación del trimestre más cálido y Precipitación del trimestre más frío.

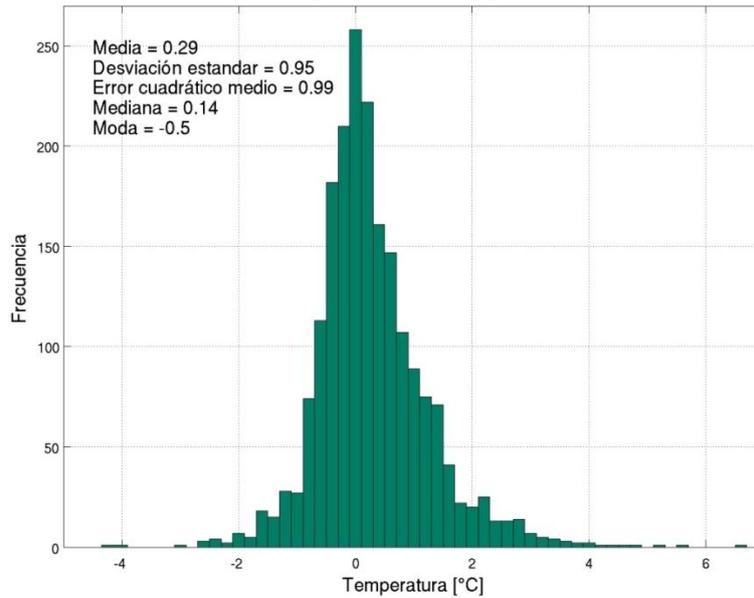


Figura 2. Histograma de las diferencias entre la base de datos generada de temperatura máxima extrema y los valores extremos observados en estaciones con más de 30 años de registros de la base climatológica diaria del SMN.
Figure 2. Histogram of the differences between the generated extreme maximum temperature database and the observed extreme values from stations with more than 30 years of records of the daily climatological database of the SMN.

El trimestre más lluvioso (julio, agosto y septiembre), el más seco (febrero, marzo y abril), el más cálido (abril, mayo y junio) y el más frío (diciembre, enero y febrero), se obtuvieron a partir de las bases de datos climáticos mensuales.

La metodología empleada para generar la base de datos de cada parámetro bioclimático es similar a la descrita anteriormente para la obtención de la climatología extrema absoluta.

Los parámetros bioclimáticos incorporados en las bases de datos respectivas, se determinaron para la zona continental mexicana; sin embargo, las regiones del sur de los Estados Unidos y de Centroamérica se complementaron con las propias superficies bioclimáticas de *WorldClim*.

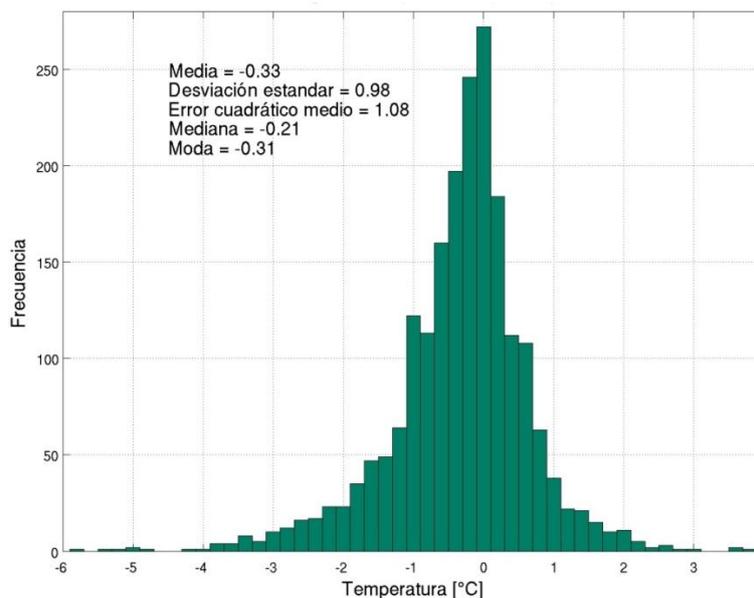


Figura 3. Histograma de las diferencias entre la base de datos generada de temperatura mínima extrema y los valores extremos observados en estaciones con más de 30 años de registros de la base climatológica diaria del SMN.
Figure 3. Histogram of the differences between the generated extreme minimum temperature database and the observed extreme values from stations with more than 30 years of records of the daily climatological database of the SMN.

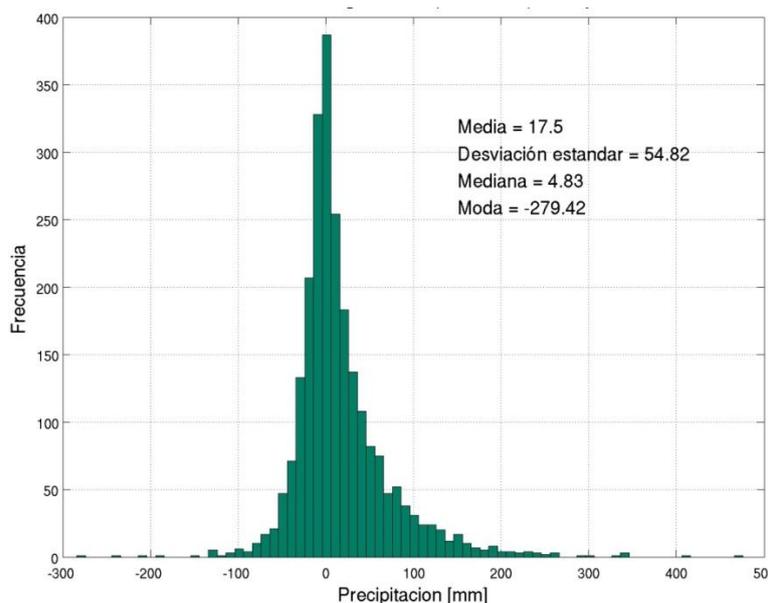


Figura 4. Histograma de diferencias entre la base de datos generada de precipitación máxima extrema acumulada mensual y los valores extremos de estaciones con más de 30 años de registros de la base diaria del SMN.

Figure 4. Histogram of the differences between the generated extreme monthly accumulated precipitation database and the extreme values from stations with more than 30 years of records of the daily climatological database of the SMN.

DESARROLLO Y CONTROL DE CALIDAD DE LAS BASES DE DATOS DE SEQUÍA METEOROLÓGICA

La sequía meteorológica es un fenómeno natural que ocurre cuando la precipitación en una región y en un periodo determinado es menor que el promedio de referencia establecido con mediciones en un lapso mayor a 30 años. Si el decaimiento de la precipitación es severo y por períodos prolongados, da origen a otros tipos de sequía, como la agrícola y la hidrológica, que se caracterizan o detectan por los efectos que provocan en las actividades económicas de la región o directamente en la sociedad. La sequía en México es uno de los fenómenos naturales que más daños causan en lo que se refiere al aspecto económico, ya que se pierden grandes hectáreas de cultivos y mueren numerosas cabezas de ganado durante los períodos en que se presenta.

Existen factores que contribuyen al déficit de precipitación, como alteraciones en la circulación general del sistema océano-atmósfera vinculadas a cambios en la temperatura de la superficie de los océanos, cambios de la presión atmosférica, incrementos en las concentraciones de bióxido de carbono, entre otros. (CENAPRED, 2013).

El Fascículo sobre Sequías de (García et al. 2002), publicado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) de la Secretaría de Gobernación de México, incorpora una reseña histórica de las sequías en México, así como los meses y algunos sitios en donde se presentaron. Los períodos de sequía que están reportados y documentados en dicho fascículo, son: 1998-2000, 1993-1996, 1970-1978, 1960-1964 y 1948-1954.

Precipitación acumulada mensual y anomalía de precipitación mensual

A partir de la BCD y conforme a la metodología descrita para el procesamiento, control de calidad y validación de las bases de datos climáticas mensuales, se calculó la superficie de precipitación acumulada mensual correspondiente a los meses de impacto de sequía reportados por (García et al., 2002).

Las anomalías de precipitación mensual correspondientes a dichos meses de sequía se obtuvieron calculando la diferencia entre la superficie de precipitación acumulada en un mes determinado y la de la precipitación acumulada promedio correspondiente.

Porcentaje de precipitación promedio mensual

Las bases de datos mensuales del porcentaje de precipitación promedio con respecto al período de referencia de la BCD (1902-2011) también se generaron a muy alta resolución espacial (926 m) considerando el efecto topográfico, normalizando los datos de anomalía de precipitación mensual mediante la relación $((\text{precipitación del mes}/\text{climatología})-1)*100$. En las opciones *Servidor de mapas* y *Mapas en línea* del ACDM, se pueden visualizar las composiciones cartográficas del porcentaje de precipitación promedio mensual y consultar el porcentaje de lluvia que se presentó por arriba (positivo) o por debajo (negativo) del promedio histórico en cualquier celda o

conjunto de celdas de la base, para de esa forma cuantificar y evaluar la sequía meteorológica en diversas regiones.

Las bases de datos, sus metadatos y los despliegues cartográficos de precipitación acumulada mensual, de anomalía de precipitación mensual y de porcentaje de precipitación promedio mensual, se encuentran disponibles mediante las facilidades interactivas del ACDM.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El desarrollo de bases de datos y metadatos de información climatológica con control de calidad, estructuradas en estándares internacionales y disponibles mediante plataformas geomáticas eficientes con capacidad de visualizar y difundir la información mediante Internet, constituye una necesidad y una alternativa importante para avanzar hacia la creación de un sistema permanente de información climática de calidad. Los métodos y procesos descritos en el presente trabajo pretenden contribuir en esa dirección.

Los avances en materia de procesamiento, estructuración y disseminación de datos, metadatos e información climática espacio-temporal logrados hasta ahora en el proyecto del ACDM, plantean nuevos retos relacionados con la integración y la calidad de datos climáticos y meteorológicos que son registrados por diversas redes institucionales en México. Se vinculan, además, con la necesidad de desarrollar más y mejores metodologías que permitan organizar la información en bases de datos estandarizadas e interoperables para avanzar, con ello, hacia su mapeo, visualización interactiva e integración con datos socioeconómicos y ambientales mediante sistemas de información espacial.

La información climatológica integrada en la forma propuesta permitirá, al mismo tiempo, mejorar la planeación del monitoreo de datos meteorológicos y climáticos.

En el futuro, y en función de la disponibilidad de datos de mejor calidad y con mejores coberturas espaciales, se deberá avanzar hacia su estructuración en bases de datos con mayor resolución temporal y espacial que permitan apoyar los estudios regionales en forma más precisa y confiable.

Agradecimientos. Los autores hacen patente su agradecimiento a Oscar Calderón Bustamante por su colaboración en el área de programación y sistemas, y a Mónica Anayetzin Mata Cruz, Miguel Ángel Flores Espinosa, Carlos Eduardo Arroyo Cruz, Erika Mendoza Peña y Carolina Hernández Castellán por su participación en desarrollos y procesos de sistemas de información geográfica, todos ellos miembros de UNIATMOS.

De igual forma se agradece al Servicio Meteorológico Nacional de México su apoyo y financiamiento para la realización del Atlas Climático de México y Áreas Adyacentes, Volumen 1, mediante el convenio de colaboración CNA/SMN-UNAM 02-2011.

REFERENCIAS

- Australian National University, (2012). Consultada en agosto de 2012. <http://www.rforge.net/doc/packages/climates/html/bioclim.html>.
- Base climatológica diaria. Servicio Meteorológico Nacional, (2011). Comisión Nacional del Agua. Normales Climatológicas por Estación. México. http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75.
- Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED), (2013). Origen y características de las sequías. Sequía. Secretaría de Gobernación, México. Consultada en junio de 2013. <http://www.cenapred.unam.mx/es/Investigacion/RHidrometeorologicos/FenomenosMeteorologicos/Sequia/>.
- Federal Geographic Data Committee, (2012). Consultada en agosto de 2012. México. <http://www.fgdc.gov>.
- Fernández, E.A., Romero, C.R. y Zavala, H.J., (2012). Atlas Climático de México y Áreas Adyacentes. Volumen 1. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua. <http://atlasclimatico.unam.mx/ACM/>.
- Fernández, E. A., Romero, C.R. y Zavala, H.J., (2013). Atlas Climático Digital de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx>.
- García, F.F.O. y Matías L.G., (2002). Sequías. Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED). Serie Fascículos. http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/372/1/images/fasciculo_sequias.pdf.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A., (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978.
- Rivas, M.S., (2002). Clasificación bioclimática de la Tierra. *Worldwide Bioclimatic Classification System*. http://www.globalbioclimatics.org/book/bioc/global_bioclimatics_2.htm.
- Shuttle Radar Topography Mission, (2005). <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>.
- Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS), (2013). Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.atmosfera.unam.mx/>.

WorldClim- Global Climate Data (1950-2000). Consultada en junio de 2011. <http://www.worldclim.org>.

Recibido: 3-7-2013

Aceptado: 21-2-2014