

DESARROLLO DE UNA BASE DE DATOS CLIMÁTICA NACIONAL ANUAL, 1989-2012: RESOLUCIÓN 250 m

DEVELOPMENT OF AN ANNUAL NATIONAL CLIMATE DATA BASE, 1989-2012: 250 m RESOLUTION

Víctor Manuel Salas-Aguilar^{1‡} y Fernando Paz-Pellat²

¹Geoinformática, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez km. 3.5 Carretera Anáhuac S/N, C.P. 31600, Cuauhtémoc, Chihuahua.

²GRENASER, Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, CP 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

[‡]Autor para correspondencia: vsalasaguilar@gmail.com

RESUMEN

La información climática debe ser estandarizada para poder ser interoperable en investigaciones regionales. Sin embargo, el volumen de registros climáticos es una limitante para poder procesar dicha información. El objetivo de este trabajo fue desarrollar una base climática anual y sistematizada a una escala espacial de 250 m. La información generada corresponde al periodo de 1989-2012. Con base en una malla climática que almacena información de precipitación y temperaturas máxima y mínima a nivel diario y a una resolución espacial de 27 km se derivaron las variables de precipitación, temperatura, evapotranspiración (métodos: Hamon, Hargreaves y Oudin), umbrales de precipitación y déficit hídrico a escala anual. Los programas Python^{MR} y SQLite^{MR} 3.0 fueron empleados para procesar y almacenar la información. El método de interpolación bilineal fue usado para remuestrear la información de 27 km a 250 m. Los resultados de las variables procesadas se almacenaron en archivos .csv, cada archivo correspondiendo a un año específico del periodo analizado. Las tablas contienen los campos de identificador del pixel, ubicación geográfica y estadísticas básicas de la variable almacenada. La información está disponible en la página del Programa Mexicano del Carbono, segmentada en los 32 estados de la república. La información fue generada en archivos de uso cotidiano, para que cualquier usuario pueda trabajarlas sin la necesidad de ser especialista en lenguajes de programación y sistemas de información geográfica.

Palabras clave: *geoprocesamiento; interpolación bilineal; interoperabilidad, remuestreo.*

ABSTRACT

Climate information should be standardized in order to be interoperable for regional studies. However, the volume of climate records is a limiting factor in order to process such information. The objective of this research was to develop a database annual climate and systematized a spatial scale of 250 m. The information generated corresponds to the period of 1989-2012. Based on a climatic mesh that stores information on precipitation and maximum and minimum temperatures at a spatial resolution of 27 km, the variables of precipitation, temperature, evapotranspiration (methods: Hamon, Hargreaves and Oudin), precipitation thresholds and water deficit were derived. The Python^{RM} and SQLite^{RM} 3.0 programs were used to process and store the information. The bilinear interpolation method was used to resample information from 27 km to 250 m. The results of the processed variables were stored in .csv files, each file corresponds to a specific year of the period analyzed. The tables contain the unique identifier fields of the pixel, geographical location and basic statistics of the variable stored at a spatial resolution of 250 m. The information is available on the page of the Mexican Carbon Program, segmented

in the 32 states of the Republic. The information was generated in files for everyday use, so that anyone can work without the need to be a specialist in programming languages and geographical information systems.

Key words: *geoprocessing; bilinear interpolation; interoperability, resampling.*

INTRODUCCIÓN

Las mallas climáticas son cada vez más usadas en estudios medioambientales, agricultura y en ciencias biológicas (Parra *et al.*, 2004). La resolución espacial de las mallas climáticas depende de las necesidades de cada estudio y de la disponibilidad de datos. Para muchas aplicaciones, como en agricultura, es necesaria una resolución fina ($< 1 \text{ km}^2$) para lograr buenas aproximaciones (Hijmans *et al.*, 2005).

Los estudios sobre proyecciones de cambio climático, patrones de variabilidad hidrológica y aspectos funcionales del clima sobre la vegetación, requieren de bases climatológicas de calidad y de mayor resolución espacial (Mitchell *et al.*, 2004). A nivel global existen mallas climatológicas a escala mensual y anual que pueden ser utilizadas con estos objetivos, por citar algunas: GHCN (Peterson y Vose, 1997); FAOCLIM 2.0 (FAO, 2001); CRU-TS3.10 (Harris *et al.*, 2013).

México cuenta con más de 5000 estaciones climatológicas, de las cuales solo 3300 siguen operando (CONAGUA, 2011). Sin embargo, en la mayoría de las estaciones se observan vacíos que impiden un monitoreo continuo del clima en una región de interés. Por lo tanto, una herramienta útil para realizar estudios de escala nacional y con la certidumbre de obtener datos de entrada de calidad, es el empleo de mallas climáticas continentales.

La gruesa escala de las mallas climáticas es reconocida como uno de los mayores problemas para inferir sobre cualquier fenómeno a escala local o regional (Gooverts, 1999). Por esta razón es importante desarrollar protocolos de procesos geoespaciales que permitan que la información de bases de datos fisiográficas pueda ser interoperable y que se propague al usuario común (Vargas *et al.*, 2017).

CONAGUA (2011) y PMC (2015) han realizado esfuerzos para procesar la información puntual de las estaciones e intercalarlas en mallas equidistantes. No obstante, la resolución espacial a la que están

construidas, 0.2° y 0.25° , respectivamente y el gran volumen de información son una limitante para ser procesada con herramientas convencionales.

En este sentido, Salas y Paz (2017) procesaron una base de datos geomorfométrica nacional con una resolución espacial de 250 m, la base se procesó con el apoyo de sistemas de información geográfica, manejadores de bases de datos y lenguajes de programación, esto permitió compactar la información en archivos de uso cotidiano (.csv, .xmls).

El presente trabajo tiene como objetivos generar una base de datos climáticos anual que este homologada a bases de datos de cambios de uso de suelo en México. Los años procesados corresponden de 1989 a 2012. Para ello se procesó y redujo la escala de la malla climática del PMC a una resolución espacial de 250 m. La información generada complementa a las bases geomorfométricas y otros productos. En este trabajo, se presenta un ejemplo del proceso de las variables climáticas para el Estado de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Pre-procesamiento

El insumo inicial fue la malla climática nacional que cuenta con 3149 nodos equidistantes a 27 km (Figura 1). La malla climática fue generada a partir del sistema de gestión de datos CLICOM. Los datos de precipitación diaria (PD), temperatura máxima diaria (TMAX) y temperatura mínima diaria (TMIN), fueron procesados mediante controles de calidad básicos, entre ellos, una serie de rutinas y funciones escritas en FORTRAN y el lenguaje R (PMC, 2015). La malla climática de 27 km fue generada por análisis objetivo de interpolación (Cressman, 1959) a escala diaria y los resultados fueron revisados por un meteorólogo experto usando información de contexto secundaria y análisis de patrones espaciales y temporales. Los resultados finales, después de su revisión, representan las tendencias espaciales y temporales asociadas a la base de datos CLICOM de México.



Figura 1. Malla climática de México. Resolución espacial de 27 km.

Se realizaron procesos para interpolar los valores de precipitación disponibles para cada día y fueron almacenados en archivos binarios, posteriormente se extrajo las series de tiempo de cada punto de la malla (nodo) y se guardaron en un archivo de texto (PMC, 2015). Los archivos generados fueron: CatalogoNodos.csv (posee información de ubicación geográfica y entidad federativa), PrecNodos.csv (posee información

de la precipitación diaria), TmaxNodos.csv (posee información de la temperatura máxima diaria) y TminNodos.csv (posee información de la temperatura mínima diaria). El Cuadro 1 describe los atributos de cada archivo. La malla climática contiene información diaria desde el primero de enero de 1950 al 31 de diciembre del 2013, sin huecos en la información.

Cuadro 1. Descripción de los atributos de los archivos referentes a la malla climática.

CatalogoNodos.csv	TmaxNodos.csv	TminNodos.csv	PrecNodos.csv
ID	Nodo	Nodo	Nodo
X	Fecha	Fecha	Fecha
Y	Tmax	Tmin	Prec
LatY			
LongX			
ENTIDAD			
NUM_EDO			

ID=identificador, X =Número de nodo en el eje X, Y= Número de nodo en el eje Y, LatY = Latitud (°), LongX = Longitud (°), ENTIDAD = Nombre del estado, NUM_EDO=Número del estado, Fecha = Mes/Día/Año.

Procesamiento de la información a escala diaria

El volumen de la información de las distintas variables climáticas es grande (> 70 millones de datos), por lo tanto, no es factible procesarlo en hojas de cálculo convencionales. Una forma de almacenar y realizar diversas operaciones relacionales y de álgebra, es con el uso de lenguajes de consulta estructurados (SQL, por sus siglas en inglés).

Los manejadores de base de datos permiten interactuar con las tablas almacenadas en forma relacional, es decir, si una tabla contiene un mismo campo con valores iguales que otra tabla, estas se pueden unir y conservar sus atributos. La tabla CatalogoNodos contiene información de ubicación de cada variable climática, el campo ID fungió como llave principal para unir a esta con las tablas de las variables climáticas, se construyó un modelo de entidad-relación para esquematizar el proceso (Figura 2).

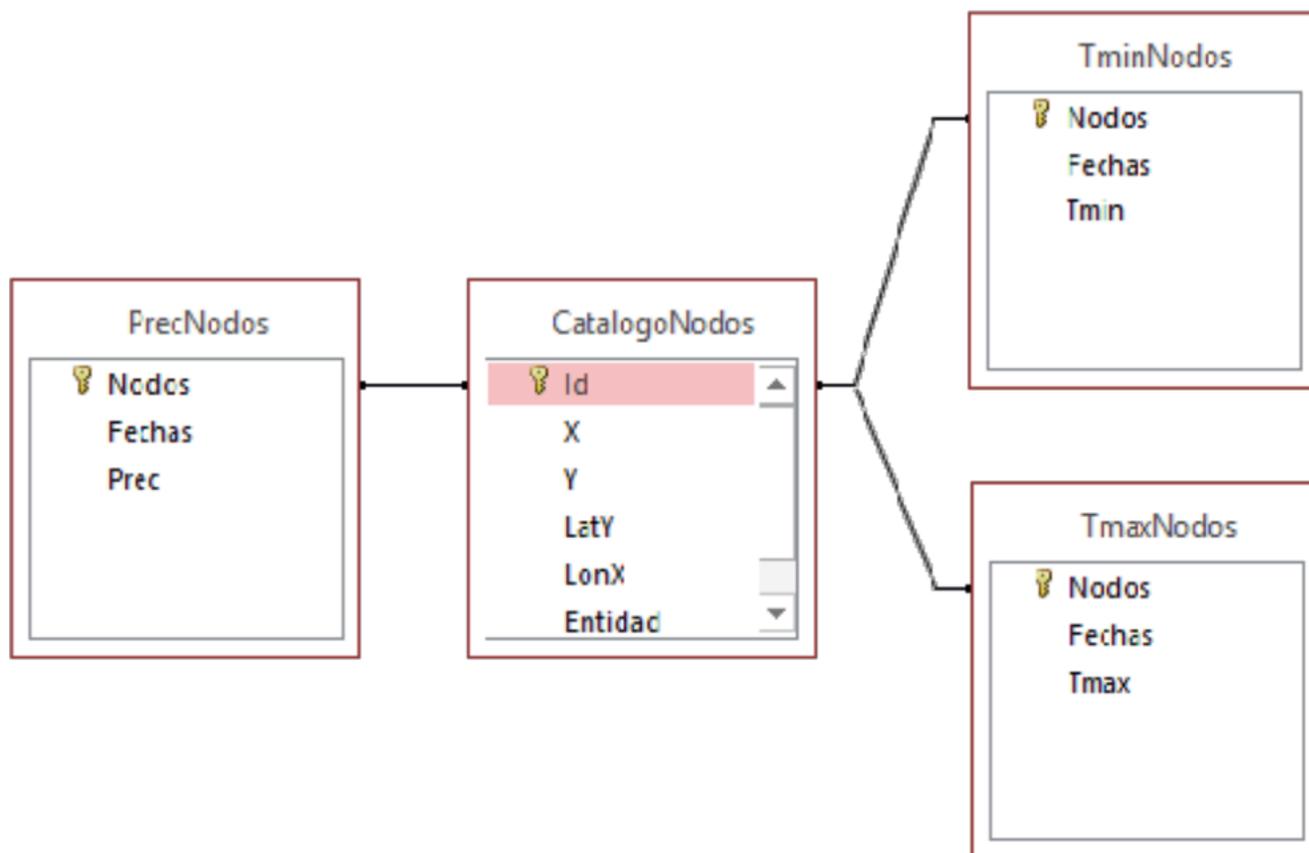


Figura 2. Diagrama entidad-relación de las tablas correspondientes a la malla climática.

En este caso, se importaron las variables del Cuadro 1 al programa SQLite^{MR} 3.0. El formato fechas del Cuadro 1 corresponde a una sola columna con Mes/Día/Año, sin embargo, para posteriores procesos se requirió que los datos de meses, días y años se almacenas en columnas diferentes. Con la función strftime () se logró transformar lo anterior.

Se utilizó el lenguaje de definición de datos (DDL, por sus siglas en inglés) para unir las tablas, la diferencia en la transformación de las tablas individuales en comparación con la tabla final se observa en la Figura 3. La tabla unida se nombró CLIMAINICIAL.

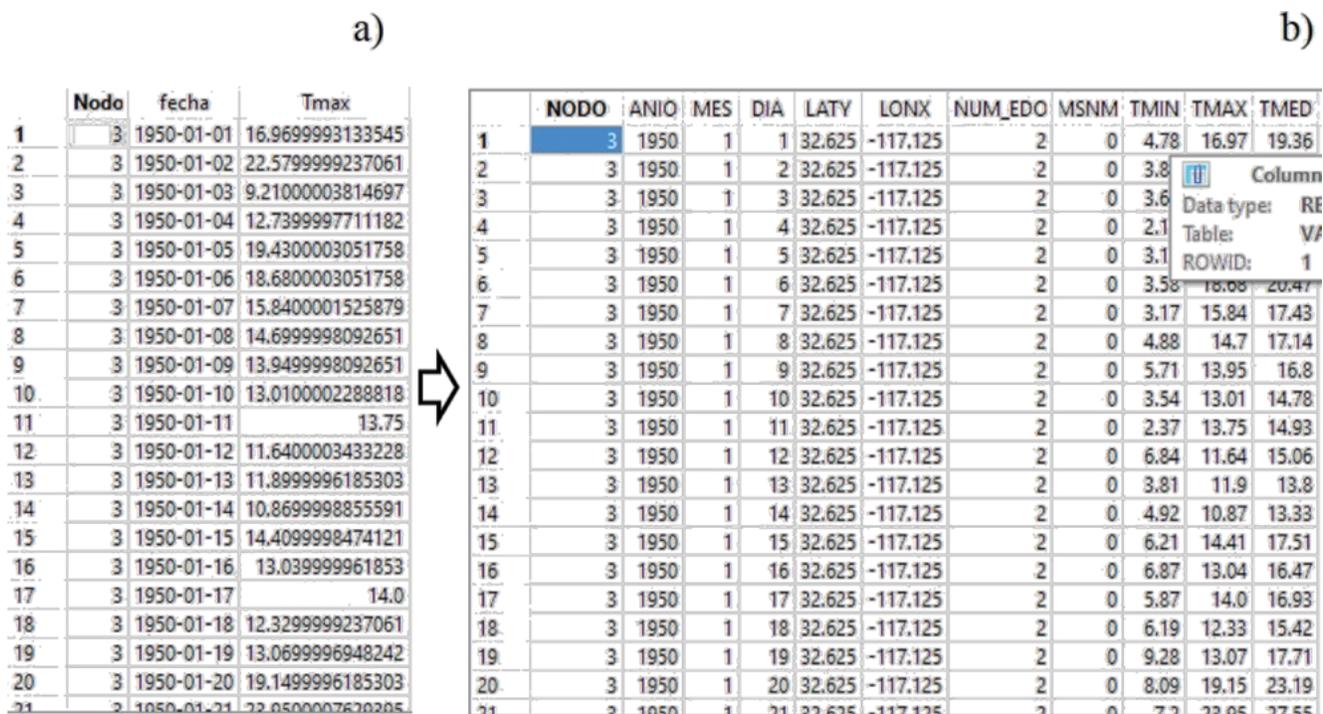


Figura 3. Transformación de los archivos, a) archivo de temperatura máxima importado a SQLite 3.0; b) Tabla CLIMA INICIAL concentra información de la ubicación de los nodos, año, mes, día y variables climáticas.

Estimación de la evapotranspiración potencial a nivel diario

Se calcularon los siguientes métodos de evapotranspiración:

- Hargreaves (Hargreaves y Samani; 1985)

$$Eto = 0.0023 * (Tmed + 17.78)Ro * (Tmax - Tmin)^{0.5} \quad (1)$$

donde, Eto es la evapotranspiración potencial diaria mm d⁻¹, Tmed la temperatura media diaria en °C, Ro la radiación extraterrestre mm d⁻¹ y Tmax la temperatura máxima en °C.

$$Ro = \frac{24 * 60}{\pi} Gsc \quad (2)$$

$$* Dr[\omega s Sen(\varphi)Sen(\delta) + Cos(\varphi)Cos(\delta)Sen(\omega s)]$$

donde, Ro es la radiación extraterrestre MJ m⁻² d⁻¹, Gsc la constante solar que es = 0.82 MJ m⁻² d⁻¹, Dr la distancia relativa inversa Tierra-Sol, ωs el ángulo de radiación a la puesta del sol, δ la latitud en radianes y δ la declinación solar.

$$Dr = 1 + 0.033 * cos\left(\frac{2\pi}{365} DJ\right) \quad (3)$$

$$\delta = 0.409 * Sen\left(\frac{2\pi}{365} DJ - 1.39\right) \quad (4)$$

$$\omega s = \arccos(-\tan(\varphi) \tan(\delta)) \quad (5)$$

donde, DJ son los días julianos.

- Hamon (1963)

$$Eto = 0.165 * 216.7 * \left(\frac{es}{T + 273.3} \right) \quad (6)$$

donde, Eto es la evapotranspiración potencial mm d⁻¹, N el número de horas en el día, es la presión de vapor a saturación (mb) y T la temperatura media diaria en °C.

$$es = 6.108e^{\left(\frac{17.27T}{T+237.3}\right)} \quad (7)$$

$$N = \left(\frac{24}{\pi}\right) * \omega s \quad (8)$$

- Oudin (Oudin *et al.*, 2004)

$$Eto = \frac{Ro}{\theta} [(T + 5)/100] \quad (9)$$

donde, θ es 2.45 MJ kg⁻¹ y si $(T+5) \leq 0$ entonces Eto = 0.

Cambio de resolución temporal de la información - nivel anual

La información anterior se generó a escala diaria. Para poder aplicar modelos a nivel temporal los datos se transformaron a escala anual mediante una sintaxis DDL de SQLite^{MR}. La resolución se modificó a 250 m para poder usarse junto con productos satelitales del

sensor MODIS, que se encuentran a dicha resolución. El Cuadro 2 presenta las variables climáticas procesadas a escala anual (se realizó un paso previo que fue a escala mensual, pero sigue la misma estructura que en el caso anual), su expresión matemática para el cambio de escala y sus unidades. Cada variable corresponde a una tabla que contiene además su ubicación geográfica.

Cuadro 2. Descripción de las variables climáticas procesadas a nivel anual.

Variable	Fórmula	Unidades
Temperatura Máxima Anual	$\sum_{i=1, j=1}^n \frac{TMAXi}{n}$	°C, TMAXi son las temperaturas máximas del mes <i>i</i> y del año <i>j</i> y <i>n</i> es el número de días del mes <i>i</i>
Temperatura Mínima Anual	$\sum_{i=1, j=1}^n \frac{TMINi}{n}$	°C, TMINi son las temperaturas mínimas del mes <i>i</i> y del año <i>j</i> y <i>n</i> es el número de días del mes <i>i</i>
Temperatura Media Anual (TMA)	$\sum_{i=1}^n \frac{TMEDI}{n}$	°C, TMEDI son las temperaturas medias del mes <i>i</i> y <i>n</i> es el número de meses en el año
Desviación estándar de TMA	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TMEDI - TMA)^2}{n - 1}}$	°C, desviación estándar del año <i>i</i>
Precipitación Media Anual (PMA)	$\sum_{i=1}^n Pij$	mm, sumatoria de las precipitaciones del mes <i>i</i> y del año <i>j</i>
Precipitación Mínima Anual	$PMINij$	mm, precipitación mínima del mes <i>i</i> y del año <i>j</i>
Precipitación Máxima Anual	$PMAXij$	mm, precipitación máxima del mes <i>i</i> y del año <i>j</i>
Desviación Estándar de PMA	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Pij - PMA)^2}{n - 1}}$	Desviación estándar del año <i>i</i> , Pij es la precipitación acumulada del mes <i>i</i> y del año <i>j</i>
Evapotranspiración Potencial (ETP)	$\sum_{i=1}^n ETPi$	mm, sumatoria de la evapotranspiración del año ETPi
Evapotranspiración Mínima Anual	$ETPMINij$	mm, evapotranspiración mínima del mes <i>i</i> y del año <i>j</i>
Evapotranspiración Máxima Anual	$ETPMAXij$	mm, evapotranspiración Máxima del mes <i>i</i> y del año <i>j</i>
Desviación Estándar de ETP	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ETPi - ETP)^2}{n - 1}}$	mm, desviación estándar del año <i>i</i> , ETPi es la precipitación acumulada del mes <i>i</i>
Déficit Hídrico Anual Métodos ETP: Hargreaves Oudin Hamon	$\sum_{i=0}^n Pi - ETPi, > 0$	mm, sumatoria de la diferencia de precipitación y evapotranspiración del mes <i>i</i> , cuando la diferencia es mayor que cero
Precipitación menor a determinado umbral	Umbral de 50 mm Umbral de 200 mm Umbral de 500 mm Umbral de 1000 mm	Meses con precipitación menor a 50 mm Meses con precipitación menor a 200 mm Meses con precipitación menor a 500 mm Meses con precipitación menor a 1000 mm

Procedimiento de remuestrear y extraer la información climática a escala de 250 m

La resolución espacial de la malla Climática del PMC es de 27 km², para efectos de hacer operable esta información, los 3149 nodos con la información climatológica a escala anual se interpolaron con una ecuación cubica por adaptarse mejor a superficies

irregulares (Gooverts, 1999). Se utilizó en programa Python^{MR}, en el cual se emplearon ciclos en el proceso para que fuera iterando año con año en la base de datos y de esta forma automatizar el proceso. El producto final fueron imágenes de las variables climáticas descritas en el Cuadro 2. La Figura 4 muestra un ejemplo de la interpolación de la precipitación media anual en el Estado de México.

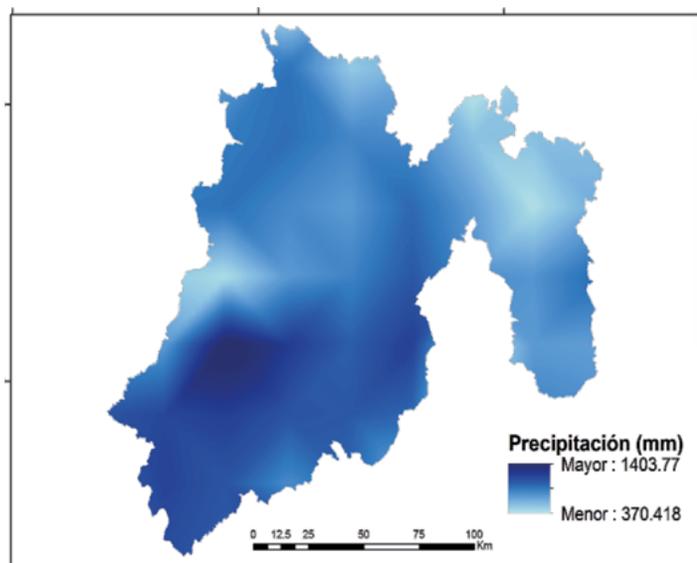


Figura 4. Interpolación de la variable precipitación media para el año 1994.

El proceso de remuestrear una imagen significa crear un nuevo ráster con diferente tamaño que el ráster original (Figura 5). Existen varias técnicas de remuestreo entre las que destacan: vecino más cercano, bilineal y bicúbico. En este trabajo se

eligió el método bilineal el cual se basa en interpolar funciones de dos variables (X, Y) en una malla regular de dos dimensiones. El tamaño final de cada imagen resultó en 250 m.

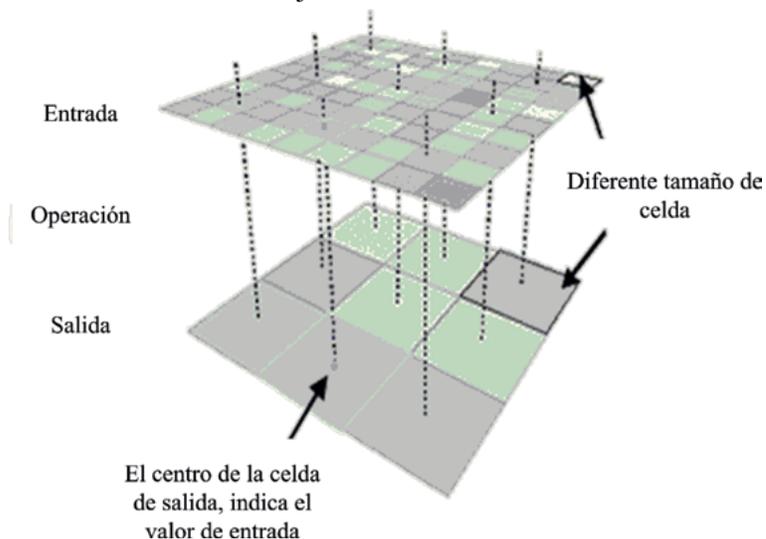


Figura 5. Remuestreo de una imagen (ESRI, 2014). La escala espacial de una imagen con mayor resolución es remuestreada a un tamaño de pixel menor.

La información de las imágenes remuestreadas fue extraída a partir de un producto vectorial acoplado sistemáticamente con el pixel de las imágenes MODIS de 250 metros. En este caso se utilizó el vector del Estado de México que cuenta con 355 624 polígonos, dividido en los siguientes campos X_CCL, Y_CCL, ID_PIXEL, que significan longitud, latitud e identificador del pixel, respectivamente. El procesamiento para la extracción de información por pixel es por lotes, es decir, el código solo requiere la dirección de la carpeta a procesar e itera sobre los archivos que existen en ella. En este caso, se utilizó la herramienta *zonal statistics*

as *table* disponible en Arcpy-Python para obtener información de un ráster al considerar como insumo un vector (malla MODIS). La herramienta permitió obtener estadísticas básicas en cada pixel (máximo, mínimo, media y desviación estándar)

La Figura 6 presenta los pasos seguidos para el procesamiento de los datos para bajar la resolución del pixel y guardar la información climática en archivos .csv a escala de 250 m. El proceso esquematiza los procedimientos descritos anteriormente. Los resultados fueron validados mediante un análisis visual de la cartografía que se generó.

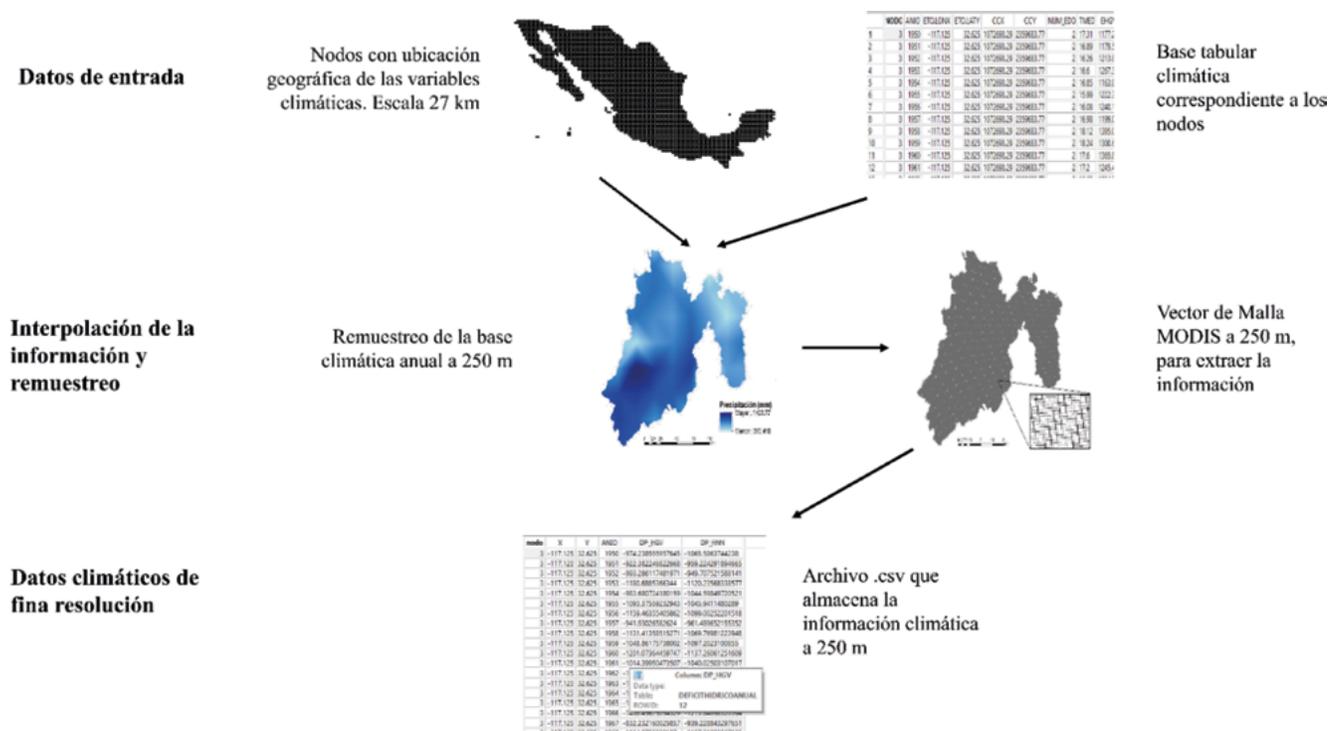


Figura 6. Procedimiento para derivar información a escala fina de las variables climáticas y extraer la información del pixel a 250 m.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las imágenes remuestreadas resultantes a escala espacial de 250 m generaron estimaciones de las variables climáticas de alta calidad. El método bilineal para reducir la escala de imágenes con alta resolución es apto para aplicarse en situaciones donde se omite el procesamiento del relieve como variable para realizar

el remuestreo (Gooverts, 1999). La Figura 7 presenta un ejemplo de las imágenes de las variables procesadas para el año 2000, en este caso se muestra el promedio anual de cada variable. Es importante resaltar las cualidades que presenta este conjunto de variables, algunas de las cuales se destacan también por Cuervo-Robayo *et al.* (2013).

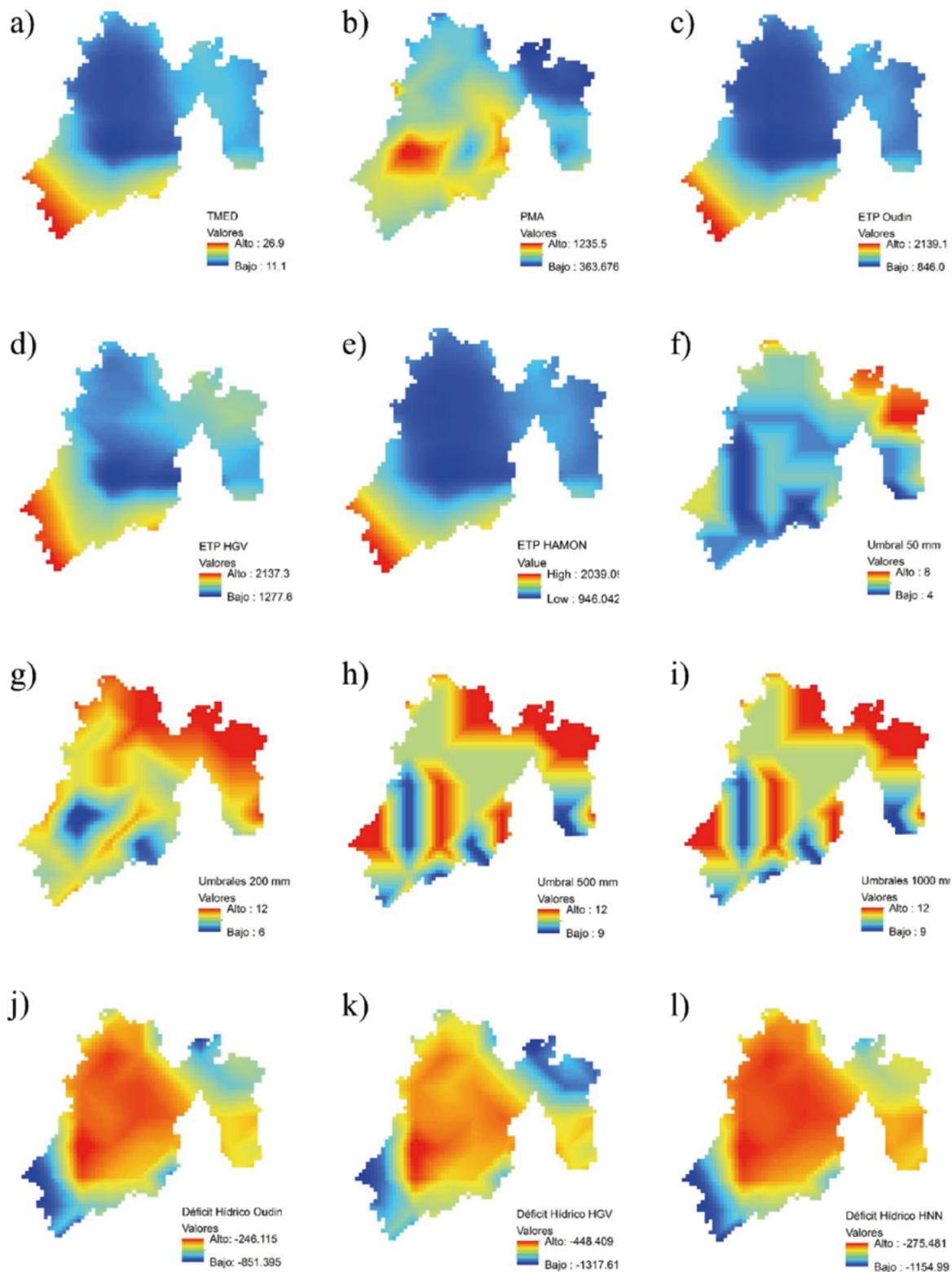


Figura 7. Ejemplo de imágenes remuestreadas a 250 m para las variables: a) temperatura media anual; b) precipitación media anual; c) evapotranspiración potencial Oudin; d) evapotranspiración potencial Hargreaves; e) evapotranspiración potencial Hamon; f) número de meses con precipitación acumulada menor a 50 mm; g)) número de meses con precipitación acumulada menor a 200 mm; h) número de meses con precipitación acumulada menor a 500 mm; i) número de meses con precipitación acumulada menor a 1000 mm; j) déficit hídrico Oudin; k) déficit hídrico Hargreaves; l) déficit hídrico Hamon.

La Figura 7 muestra que la temperatura media anual en la mayor parte del estado es baja en su escala, alrededor de los 11.6 °C, las temperaturas más altas se observan en la parte sur del estado. La precipitación media anual oscila entre 363.6 y 1 235 mm, las precipitaciones más bajas se dan en la parte norte del estado y las precipitaciones más altas en la parte central. Para el año 2000 hubo regiones que mantuvieron un mínimo de cuatro meses y un máximo de ocho meses con precipitaciones menores a 50 mm, en el caso de precipitaciones menores de 200 mm la parte norte del estado presentaron los 12 meses por debajo de ese umbral.

Las regiones que presentaron precipitaciones por debajo de 500 y 1000 mm, prácticamente son las mismas en todo el Estado de México, el número de meses por debajo de ese umbral se encuentra en el rango de nueve a doce meses. En lo que respecta al déficit hídrico, se observa en las Figuras 6j, 6k, 6l que presentaron valores negativos altos en la parte central del estado, lo que significa que la demanda atmosférica es estas regiones es más alta que la precipitación que entra en esta zona (Hargreaves y Samani, 1985).

Los cambios de la vegetación a gran escala espacial son procesos poco entendidos, sobre todo si relacionan con variables climáticas (de Jong *et al.*, 2012). En lo que respecta a este trabajo, la resolución espacial del pixel de cada imagen permite hacer comparaciones con variables biológicas, tal es el caso de la biomasa aérea en diferentes biomas, por ejemplo Chave *et al.* (2014) incorporaron la precipitación estacional y el estrés hídrico para hacer una predicción más eficiente de la biomasa forestal en ecosistemas tropicales, su estudio demostró que el déficit hídrico incide en el crecimiento de la biomasa.

Un aspecto importante para poder hacer análisis entre los cambios de uso de suelo y variables climáticas de forma espacio-temporal, es hacer bases de datos interoperables (Vargas *et al.*, 2017). En este sentido la información procesada posee datos estadísticos básicos a escala de pixel, la cual está organizada de acuerdo al Cuadro 3. Las tablas generadas en cada carpeta corresponden a un año en particular (1989 a 2012) y corresponden a su respectiva variable climática.

Cuadro 3. Descripción de la base climática anual generada.

Carpeta	Tablas	Campo almacenado	Descripción
Déficit Hídrico	DH_1989 a DH_2012	ID_PIXEL	Identificador del pixel o malla satelital
		X_CCL	Longitud*
		Y_CCL	Latitud*
		PE_HGV	Déficit hídrico con el método Hargreaves
		PE_HNN	Déficit hídrico con el método Hamon
ETo_Hamon	HAM_1989 a HAM_2012	PE_OUDIN	Déficit hídrico con el método Oudin
		ID_PIXEL	Identificador del pixel o malla satelital
		X_CCL	Longitud*
		Y_CCL	Latitud*
		HMED	Evapotranspiración media anual
		HMIN	Evapotranspiración mínima
		HMAX	Evapotranspiración máxima
HSTD	Desviación estándar de la evapotranspiración		
ETo_Hargreaves	HGV_1989 a HGV_2012	ID_PIXEL	Identificador del pixel o malla satelital
		X_CCL	Longitud*
		Y_CCL	Latitud*
		HMED	Evapotranspiración media anual
		HMIN	Evapotranspiración mínima
		HMAX	Evapotranspiración máxima
		HSTD	Desviación estándar de la evapotranspiración

Carpeta	Tablas	Campo almacenado	Descripción
ETo_Oudin	Oudin_1989 a Oudin_2012	ID_PIXEL X_CCL Y_CCL HMED HMIN HMAX HSTD	Identificador del pixel o malla satelital Longitud* Latitud* Evapotranspiración media anual Evapotranspiración mínima Evapotranspiración máxima Desviación estándar de la evapotranspiración
Número_Meses_ Menor_50_200_500_1000	PLS_1989 a PLS_2012	ID_PIXEL X_CCL Y_CCL P50 P200 P500 P1000	Identificador del pixel o malla satelital Longitud* Latitud* Meses con precipitación menor a 50 mm Meses con precipitación menor a 200 mm Meses con precipitación menor a 500 mm Meses con precipitación menor a 1000 mm
Precipitación	P_1989 a P_2012	ID_PIXEL X_CCL Y_CCL PMED PMIN PMAX PSTD	Identificador del pixel o malla satelital Longitud* Latitud* Precipitación media anual Precipitación mínima Precipitación máxima Desviación estándar de la precipitación
Temperatura	T_1989 a T_2012	ID_PIXEL X_CCL Y_CCL TMED TMIN TMAX TSTD	Identificador del pixel o malla satelital Longitud* Latitud* Temperatura media anual Temperatura mínima Temperatura máxima Desviación estándar de la temperatura

Las tablas están almacenadas en archivos .csv, el cual puede visualizarse en hojas de cálculo convencionales, la intención de generar archivos de este formato, es que cualquier usuario con mínimas habilidades en sistemas de información geográfica (SIG) y bases de datos pueda procesar esta información en casos particulares.

CONCLUSIONES

Se procesó y remuestreo una malla climática con resolución espacial de 27 km. Se generaron las variables climáticas de precipitación, temperatura,

evapotranspiración, déficit hídrico e umbrales de precipitación a una a escala de 250 m y a una resolución temporal anual.

Las tablas climáticas anuales de las variables generadas, contienen información de estadísticas básicas (máximo, mínimo, media y desviación estándar) a nivel de pixel (250 m), esta información puede ser útil para poder realizar estudios espacio-temporales del clima y poder relacionarlos con cambios vegetativos en el periodo de análisis.

La propuesta de este trabajo es sintetizar la información procesada en archivos de uso cotidiano,

para que cualquier usuario pueda acceder e inferir sobre ella, sin la necesidad de ser especialista en lenguajes de programación o SIG.

LITERATURA CITADA

- Chave, J., M. Réjou-Méchain, A. Búrquez, E. Chidumayo, M. S. Colgan, W. B. Delitti and M. Henry. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* 20:3177-3190.
- CONAGUA. 2011. Manual para el control de inundaciones. Gobierno Federal, 2011. <http://cenca.imta.mx/pdf/manual-para-el-control-de-inundaciones.pdf> (Consulta: mayo 02, 2015).
- Cressman, G. P. 1959: An Operational Objective Analysis System. *Monthly Weather Review* 87:367-374.
- Cuervo-Robayo, A. P., O. Téllez-Valdés, M. A. Gómez-Albores, C. S. Venegas-Barrera, J. Manjarrez and E. Martínez-Meyer. 2013. An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology*. 34:2427-2437. DOI: 10.1002/joc.3848.
- de Jong R., J. Verbesselt, M. E. Schaepman and S. Bruin. 2012. Trend changes in global greening and browning: contribution of short-term trends to longer-term change. *Glob. Chang. Biol.* 18:642-655.
- ESRI. 2014. Un recorrido rápido por Arcpy. <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0> (Consulta: mayo 02, 2015)
- FAO. 2001. FAOCLIM 2.0. A world-wide agroclimatic database. Food and Agricultural Organization of the United Nations: Rome, Italy.
- Gooverts, P. 1999. Geostatistics in soil science: state of the art and perspectives. *Geoderma* 89:1-45
- Hamon, W. R. 1963. Computation of direct runoff amount from storm rainfall. *Intl. Assoc. Scientific Hydrol. Publ.* 63:52-62.
- Hargreaves, G. H and Z. A. Samani. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture* 1:96-99.
- Harris, I., P. D. Jones, T. J. Osborn and D. H. Lister. 2013. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology* 34:623-642.
- Hihmans, R., S. Cameron, J. Parra, P. Jones and A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25:1965-1978.
- Mitchell, T., T. Carter, P. Jones, M. Hulme and M. New. 2004. A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100). Tyndall Centre for Climate Change Research. UK.
- Oudin, L., F. Hervieu, L. Michel, C. Perrin, V. Andreasian, F. Ancil, and C. Lounagne. 2004. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? Part 2 –towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modeling. *Journal of Hydrology* 303:290-306.
- Parra, J., C. Graham and J. F. Freile. 2004. Evaluating alternative data set for ecological niche models of birds in the Andes. *Ecography* 27:350-360.
- Peterson, T and R. Vose. 1997. An overview of the Global Historical Climatology Network temperature data base. *Bulletin of the American Meteorology Society* 78:2837-2849.
- PMC. 2015. Desarrollo de una base de datos de clima diaria en una malla regular para México. Programa Mexicano del Carbono. Reporte interno no publicado. Texcoco, Estado de México, México.
- Salas, V. M. y F. Paz. 2017. Desarrollo de una base de datos geomorfométrica nacional. *Elementos para Políticas Públicas* 1:15-24.
- Vargas, R., D. Alcaraz-Segura, R. Birdsey, N. A. Brunzell, C. O. Cruz-Gaistardo, B. de Jong, J. Etchevers, M. Guevara, D. J. Hayes, K. Johnson, H. W. Loescher, F. Paz, Y. Ryu, Z. Sánchez-Mejía and K. P. Toledo-Gutiérrez. 2017. Enhancing interoperability to facilitate implementation of REDD+: case study of Mexico. *Carbon Management* 8:57-65.

