

ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE DATOS METEOROLÓGICOS ¿CUÁL ESTACIÓN ELEGIR?

LILIANA MARRUFO, JUDITH RAMOS,
ALEJANDRO MONSIVAIS Y JESÚS GRACIA

Las estaciones climatológicas o meteorológicas son una herramienta fundamental para determinar la presencia de variaciones anormales en los patrones climáticos de una región como la sequía asociada a la diferencia entre la temperatura media con respecto a la de referencia. En México, se ha realizado un gran esfuerzo en mantener estaciones climáticas desde los años sesenta o anteriores (Red CLICOM) y desde 1999 se han venido instalando estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) a lo largo del país. La importancia de contar con estas estaciones radica en que proporcionan información de diferentes elementos que definen el clima, con lo cual se puede predecir el tiempo y el desarrollo de la vida en general, por ejemplo, en la seguridad alimentaria definir el riego de cultivos, entre otros. Sin embargo, los registros no son continuos en las bases de datos, las razones por las que se presentan estos problemas son: el daño causado por fauna, la falta de mantenimiento o la escasez de recursos para pagar un estudio relacionado con la recopilación y el resguardo de la base de datos. Por ello, el establecimiento de estaciones climáticas o meteorológicas que proporcionen bases de datos completas es una tarea urgente para desarrollar pronósticos más precisos a corto, mediano y largo plazo.

Una manera de paliar la falta de datos climatológicos es estimar los datos faltantes en las bases de datos mediante la aplicación de técnicas agrupadas en métodos empíricos, métodos estadísticos y ajuste de funciones (Thiebaut y Pedder, 1987). Otra manera, es a través del análisis de frecuencia¹ regional, el cual busca establecer regiones homogéneas garantizando que se cuente con condiciones similares en una región y se pueden extrapolar parámetros como percentiles, desviación estándar, etc. Lin y Chen (2003; 2006) señalan que cuando se cuenta con diversos puntos de muestreo en un análisis de

frecuencia regional, la identificación de regiones homogéneas suele ser la etapa más difícil y requiere una gran cantidad de juicio subjetivo, a pesar de esto el cálculo resulta ser más preciso debido a que se asignan sitios a regiones similares en lugar de analizar puntos independientes (Lin y Chen, 2006). También se debe considerar que, para crear zonas homogéneas, los mismos registros utilizados deben ser por sí mismos homogéneos (OMM, 2015). Para la creación de regiones homogéneas se debe considerar el uso de las normales climáticas², las cuales se convierten en indicadores de las condiciones que tienen una alta probabilidad que se produzcan en una ubicación determinada en el marco del clima actual (OMM, 2015), toda vez que los impactos, positivos o negativos, generados por el ser humano sobre los ecosistemas tardan en presentarse de manera paulatina a través de escalas de tiempo (Duarte *et al.*, 2006).

Por ello, se planteó hacer un análisis de frecuencia regional previa identificación de zonas homogéneas dentro de la Reserva de la Biosfera Calakmul (RBC) a través del análisis de tres variables climatológicas: precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, elementos que deben ser considerados para el desarrollo de estudios a escala regional con el fin de determinar los patrones climáticos y su impacto en la disponibilidad de agua.

Zona de estudio

La RBC se localiza al sur de la península de Yucatán, México, cerca de la frontera con Guatemala. Se caracteriza por ser un bosque tropical en una planicie donde se presentan zonas bajas y alkachés, además de algunas elevaciones menores. Perteneció a una cuenca interna, la cual influye en la humedad a través de las nubes de lluvia que viajan por las colinas circundantes y por los movimientos del aire causados por la variación de temperatura. De acuerdo con el sistema de clasificación de Köppen, modificado por García (1973) (Fig. 1), el clima es cálido subhúmedo (Aw) definido por la sabana, el cual se subdivide en tres subtipos: Aw1, el menos húmedo de los subhúmedos, Aw1(x) con una humedad intermedia entre los subhúmedos y Aw2 que es el más húmedo de los subhúmedos (Carabias *et al.*, 1999).

¹ El análisis de frecuencia se define como un método utilizado para establecer la relación entre las magnitudes de variables meteorológicas extremas, como la precipitación, y su frecuencia de ocurrencia mediante la aplicación de distribuciones de probabilidad (Chebana, 2023).

² Normal climática: medidas periódicas calculadas para un periodo uniforme y relativamente largo que comprenda por lo menos tres periodos consecutivos de 10 años. El periodo de 30 años que se manejaba anteriormente, se mantiene como periodo de referencia regulatorio para las evaluaciones de cambio climático a largo plazo (OMM, 2015).

Metodología

La metodología consiste en identificar zonas homogéneas para establecer la variación climática que se pueda encontrar a través del estudio de los registros de las estaciones climatológicas (tradicionales) y, en caso, de encontrarse Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) u observatorios emplear sus datos de forma coherente con las estaciones tradicionales.

Datos climáticos

Los datos climatológicos disponibles incluyen estaciones climatológicas tradicionales (archivo CLICOM) que registran precipitación (P) y temperatura del aire (T) (máxima y mínima), y Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs) que registran P, T, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar. La fig. 2 muestra la distribución de las estaciones climatológicas disponibles para el análisis de frecuencia regional de la RBC. Se debe mencionar que únicamente se cuenta con un observatorio ubicado en la capital del estado, y aunque la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2024) tiene una EMA llamada Calkmul II al sureste de la RBC, ésta no se encuentra activa.

Las estaciones se encuentran en la zona de amortiguamiento asociadas a asentamientos humanos, lo que confirma las observaciones de Xia et al. (1999) al mencionar que, por lo general, las estaciones climatológicas se ubican en la periferia de las zonas boscosas, pero no dentro de ellas, lo que hace a los datos climatológicos registrados poco o nada representativos del clima de una región. La RBC cuenta con una EMA Calakmul I al sureste cuyos registros se han mantenido desde 1999; esta estación es tomada para extrapolar sus datos a la zona homogénea a la que pertenece.

Las estaciones climatológicas (CLICOM) elegidas para realizar el estudio son 4018, la Esperanza; 4027, Placeres; 4035, Xmaben; 4036, Xpujil; 4037, Zoh Laguna; 4061, Conhuas; 4080, Alvarado y 4081, Cristóbal Colón (Fig. 2). El periodo de análisis se estableció de 2001-2010, quedando fuera las estaciones 4027, 4018 y 4035. Los registros analizados fueron para temperatura (máxima, promedio y mínima) y precipitación.

Método

Al contar sólo con cinco estaciones climatológicas con series incompletas cubriendo sólo un periodo de diez años, se optó por usar métodos tradicionales como es el caso del análisis de consistencia-frecuencia en lugar de métodos de conglomerados u otras técnicas incluyendo las de inteligencia



Figura 1. Tipos climáticos según Köppen, modificado por García (1973). Fuente: RBC, 2018

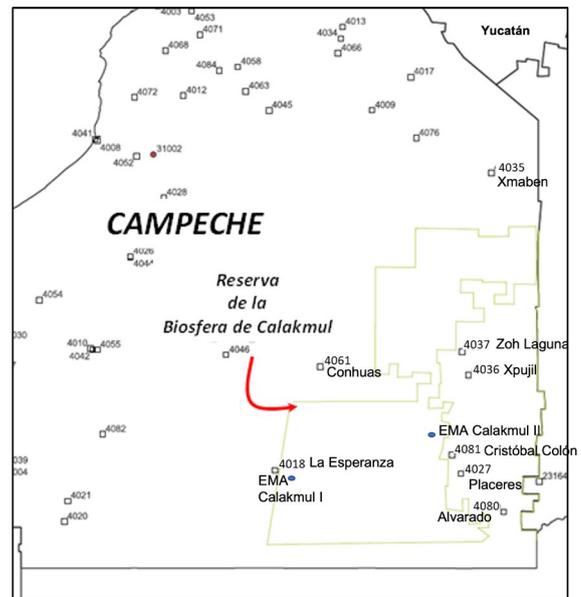


Figura 2. Estaciones climatológicas y EMA, ubicadas en y alrededor de la Reserva Biosfera de Calakmul. Fuente: SMN (2024)

artificial (Monsalve, 1999; OMM, 2011). El método a emplear fue el de “doble masa”, en el cual se relaciona los totales anuales acumulados del elemento de análisis de un determinado lugar y la media acumulada de los totales anuales de todas las estaciones de la región que se encuentran dentro del área considerada climatológicamente homogénea. En el caso de que no haya cambio en la pendiente de la línea, la estación en cuestión es homogénea en sus datos. La EMA Calakmul I se usará para extrapolar sus datos a la zona homogénea a la que pertenece.

Resultados

El análisis de doble masa que se presenta en cada una de las cinco estaciones seleccionadas es para el elemento **precipitación**. No se tomaron más estaciones porque la distancia era mayor de los 100 km lo cual ya no representaría al clima en la RBC. La zona de estudio se dividió en dos secciones: norte (4036, 4037, 4061) y sur (4080, 4081) separadas por la carretera Chetumal-Escárcega.

El método de doble masa arrojó que las bases de datos por estación no presentan homogeneidad al tener un cambio de pendiente, siendo el más marcado para la 4081, y en menor medida para las 4036 y 4061 con una correlación mayor de 0.996. Posteriormente, se realizó un análisis de segmentación concluyendo que la estación 4080 es la estación base para esta región sur, mientras que la 4037 será la base en la zona norte. Esto permitió establecer la consistencia entre estaciones graficando los datos de 4036 vs 4037 y de 4061 vs 4037 para el periodo 2001 a 2010, obteniendo correlaciones mayores de 0.99, por tanto, se consideran estaciones homogéneas (Fig. 3).

Dados los resultados, se puede considerar que la estación 4037 representa las condiciones del norte de la RBC, no sólo con la estación de 4036, Xpujil que se encuentra a 10 km en línea recta, sino con la estación 4061 de Conhuas que está a casi 50 km en línea recta. Esto es coherente al estar la zona núcleo más orientada al noroeste estrechándose cerca de la carretera Chetumal-Escárcega, además de ser una zona impactada de forma similar por el ser humano.

Para la zona sur, se graficaron 4080 vs 4081 para comprobar su consistencia (Fig. 4), la cual se espera pueda ser similar dado que la distancia entre ambas estaciones es de 30 km. En la fig. 4 se observa una consistencia aceptable, excepto por el año 2007, con una diferencia de lluvia acumulada de 1,200 mm siendo mayor en la 4080, con lo cual se comprueba que entre más al sur se encuentre la estación, la lluvia es mayor.

Los resultados mostraron que es posible establecer la consistencia de los datos de diferentes estaciones para identificar zonas homogéneas mediante el análisis de frecuencia regional aplicando las normales climáticas.

Fue posible observar que, en efecto, la carretera Chetumal-Escárcega sí actúa como una división entre el Norte y Sur de la RBC. Se encontró que, en la parte norte, la estación 4037 representa el clima dentro de la zona de RBC comprendida en esa área. No así para la zona sur, de la cual no se pudo concluir que una estación (4080) represente el comportamiento del ecosistema en esa área. El sur de la RBC es un área muy amplia cerca de 100 km tanto en longitud como en latitud que además puede estar influenciada, tanto al oeste como al este, por el subtipo climático Aw2.

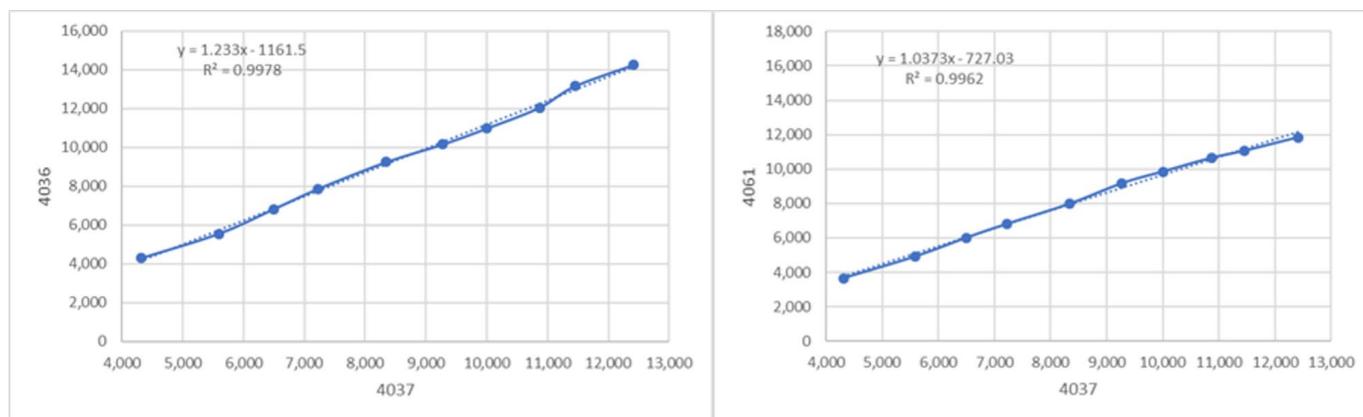


Figura 3. Consistencia entre los datos de precipitación de las estaciones 4036 y 4061

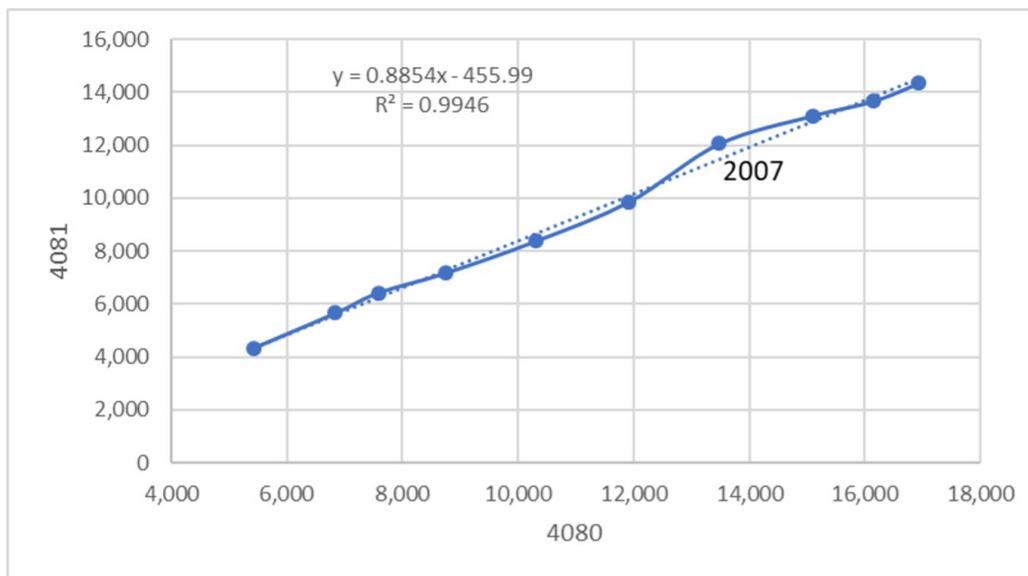


Figura 4. Consistencia entre las estaciones 4080 y 4081

Esto lleva a repetir, el análisis de consistencia- frecuencia incluyendo la EMA para el periodo de 2001 a 2010 con datos de lluvia diarios para homogeneizar la base de datos con las estaciones climatológicas. Finalmente, para lograr un manejo efectivo de una zona boscosa como la RBC, se debe considerar primordial la instalación de estaciones climáticas dentro de la reserva, así como el rescate de aquellas que ya se encuentran instaladas, pero que no operan.

Referencias

Duarte, C. M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo, M., Ríos, A. F., Simó, R., Valladares, F. (2006). Cambio global: Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 2006. ISBN: 978-84-00-08452-3

Chebana F. (2023). Introducción. En F. Chebana (Ed.) Análisis de frecuencias multivariadas de variables hidrometeorológicas. A Copula-Based Approach. 223 pág. Quebec: Elsevier Inc. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95908-7.00016-5>

CONANP (2024). Plataforma de Información Climática - PIC. Disponible el 29 de diciembre de 2024 en <https://pic.conanp.gob.mx/mapa/pic>

RBC (2018) Nomination of Ancient Maya City and Protected Tropical Forests of Calakmul, Campeche By the Government of Mexico for Inscription on the World Heritage List

Carabias, J., Provencio, E., De la Maza, J., Rodríguez de la Gala, J. B. (1999). Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Calakmul, México. SEMARNAP, 1a edición. Instituto Nacional de Ecología. México. Disponible el 10 de enero de 2024 en <chrome-extension://efaidnbmninnbpcjpcglclefindmkaj/https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/anp/AN08.pdf>

Agradecimientos

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) con el proyecto IN114022 Convocatoria 2022 por patrocinar esta investigación. Al Dr. José Adalberto Zúñiga Morales, director de la RBC por las facilidades para trabajar en el área, al guarda parque Luis Tamay Yah y al C. Luis Alfonso Guzmán por mantener las estaciones en óptimo estado. |

Lin, G.F, Chen, L.H. (2003). A reliability-based selective index for regional flood frequency analysis methods using the Self-organizing Map. *Hydrological Processes*, 17:13, 2653-2663. doi: <https://doi.org/10.1002/hyp.1267>

Lin, G.F, Chen, L.H. (2006). Identification of homogeneous regions for regional frequency analysis using the self-organizing map. *Journal of Hydrology*, 324:1-9. doi: 10.1016/j.jhydrol.2005.09.009

Monsalve, G. (1999). Hidrología en la Ingeniería. 2da Edición, 360 pág. España: Marcombo. ISBN 9701504046, 9789701504048

OMM (2011). El clima y tú. OMM, Organización Meteorológica Mundial, -Nº 1071. ISBN 978-92-63-31071-2

OMM (2015). Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas. Organización Meteorológica Mundial, Nº 1203. ISBN 978-92-63-311203-7

Thiebaux, H.J. and Pedder, M.A. (1987) *Spatial Objective Analysis: with applications in atmospheric science*. New York: Academic Press, doi: 19887829

Xia Y, Peter Fabian, Andreas Stohl, Martin Winterhalter (1999). Forest climatology: estimation of missing values for Bavaria, Germany. *Agricultural and Forest Meteorology* 96 (1999) 131-144. doi: S0168-1923(99)00056-8