

XX Congreso Mexicano de Meteorología

V Congreso Internacional de Meteorología de la OMMAC, 2011

ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE MÉTODOS TEMPORALES PARA COMPLETAR REGISTROS FALTANTES DE LLUVIA EN LA CUENCA DEL RIO BOLAÑOS

Preciado J. Margarita¹, Mejía Z. Roberto¹, Arganis J. Maritza, Ocón G. Alfredo¹

1. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Morelos México. 2. Instituto de Ingeniería de la UNAM
preciado@tlaloc.imta.mx, rmejia@tlaloc.imta.mx, marganisJ@iingen.unam.mx, aocon@tlaloc.imta.mx

Resumen

En México, como en América Latina, las redes de medición y por consiguiente la disponibilidad de datos de variables hidroclimatológicas es en general escasa, en comparación con la cobertura y las bases de datos que existen en países desarrollados. Lo anterior, aunado a la creciente necesidad de estimar los eventos para el diseño de obras hidráulicas, se convierte en un problema prioritario en el campo de la modelación hidrológica. El empleo de métodos geoestadísticos para la estimación, extensión y complementación de registros hidrológicos requiere contar con bases de datos de buena calidad, en particular de series de tiempo de larga duración y con la correcta distribución espacial, que finalmente faciliten el trabajo del hidrólogo. En este artículo se hace una revisión de los métodos temporales para el llenado de datos temporales faltantes de precipitación aplicados en la cuenca del río Bolaños y sus 47 estaciones climatológicas durante un periodo común de 25 años.

Objetivo

Analizar diferentes métodos para su aplicación en la cuenca del río Bolaños para el llenado de datos temporales faltantes de precipitación

Introducción

La variabilidad climática, definida como las fluctuaciones observadas en el clima durante periodos de tiempo relativamente cortos, es un tema en el que han venido desarrollándose gran cantidad de investigaciones, gracias a la obtención de más y mejores registros de variables climatológicas a lo largo del tiempo, y a la disponibilidad de herramientas matemáticas y computacionales para el análisis de grandes bases de datos meteorológicas.

Mesa (2007), señala cómo la variabilidad temporal del clima influye en los ciclos hidrológicos de manera natural en todas las regiones del mundo, sin embargo la regulación natural de las cuencas, productoras de agua, se ve afectada por un manejo inadecuado, manifestándose esto en un régimen hidrológico más irregular, con eventos más críticos y mayores temporadas de sequía. Estos fenómenos afectan considerablemente el desarrollo de las regiones al haber déficit en el recurso agua, o por el contrario, generarse eventos de gran magnitud que ponen en situación de riesgo a una población. El análisis de los cambios en la precipitación a distintas escalas espaciales y temporales es de suma importancia, principalmente a que la precipitación es un componente fundamental del sistema climático, existiendo en los actuales momentos un amplio consenso sobre la necesidad de profundizar el conocimiento sobre su variabilidad espacial y temporal, principalmente dentro del contexto del Cambio Climático Global.

La caracterización de las lluvias para nuestro país ejerce un papel de suma importancia en el comportamiento de los sistemas agro-ecológicos y en la distribución y frecuencia de eventos de carácter hidrometeorológicos causantes de deslaves e inundaciones. Sin embargo existen limitaciones en nuestro país para profundizar sobre el análisis de la caracterización pluviométrica espacial y temporal debido principalmente a la disponibilidad de los datos climáticos de buena calidad, en particular de series de tiempo de larga duración y con la correcta distribución espacial, que faciliten el análisis simultaneo de la variabilidad temporal en todo el país.

La estimación de la precipitación en un cierto punto o área de interés es una herramienta de gran utilidad para llevar a cabo para un sinnúmero de aplicaciones en materia hidrológica e hidráulica. Así, el diseño de las obras hidráulicas siempre requiere información hidrológica confiable. En ocasiones el hidrólogo cuenta con bases de datos robustas de precipitación u otra variable, sin embargo, en la mayoría de los casos esta información no se encuentra disponible o está incompleta.

Metodología

A continuación se presentan los métodos temporales que se aplicarán para el cálculo de la precipitación faltante en el tiempo en una determinada estación.

- **Promedio aritmético**

Para este método sólo se aplica el promedio aritmético a los datos de las diferentes estaciones que se encuentran alrededor de la estación en que se desee estimar la variable hidrológica.

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

Donde

P Es la precipitación a calcular en mm.

n Es el número de estaciones alrededor de la estación en estudio.

P_i Precipitación de cada una de las estaciones alrededor de la estación a calcular en mm.

- **Relación normalizada**

En este método la lluvia faltante en una cierta estación pluviométrica, se estima a partir de los valores observados en las estaciones cercanas, situadas uniformemente alrededor de la estación incompleta y que contengan los registros faltantes. Si la precipitación media anual (o media mensual) de cada una de las estaciones auxiliares está dentro de un 10% de la registrada en la estación incompleta, se usará el promedio aritmético de las tres estaciones para estimar el dato anual (o mensual) faltante.

Si la precipitación de cualquiera de las estaciones auxiliares difiere en más de un 10% de la medida de la estación incompleta, el dato faltante será determinado por el Método de la Relación Normalizada, en el cual los valores observados en las estaciones auxiliares son ponderados mediante las relaciones o cocientes a la precipitación media correspondiente. Es decir, que el dato faltante anual (o mensual) P_x será igual a:

$$P_x = \frac{1}{n} \left(\frac{N_x}{N_1} P_1 + \dots + \frac{N_x}{N_n} P_n \right) \quad (2)$$

Dónde:

N_x = precipitación media anual (o media mensual) en la estación incompleta, en milímetros.

N_1, \dots, N_n = precipitación media anual (o media mensual) en las estaciones auxiliares 1... n, en milímetros.

P_1, \dots, P_n = precipitación anual (o mensual) observada en las estaciones 1...n para la misma fecha que la faltante en milímetros.

El método de la relación normalizada permite estimar datos faltantes a cualquier intervalo en particular a nivel anual o mensual, pero se recomienda para los primeros. De acuerdo a C. O. Wisles y E. F. Brater (Campos A.) el método puede ser empleado en más de tres estaciones de estaciones, siempre y cuando tengan aproximadamente la misma distancia a la estación con datos faltantes. Cuando el método es aplicado para estimar datos mensuales, los valores de $N_1 \dots N_n$ son correspondientes al mes que se estima.

- **Racional deductivo**

Cuando no es posible disponer de estaciones cercanas y circundantes a la estación incompleta, o bien, las existentes no cuentan con observaciones de los datos (meses) faltantes, se puede estimar el valor mensual faltante por medio de un simple promedio aritmético de los valores contenidos en el registro para ese mes, lo anterior se considera válido únicamente si es sólo un año (o máximo dos) el faltante y tal promedio se realiza con diez datos (años) como mínimo. El desarrollo del método se puede sintetizar en los siguientes tres pasos:

- Se efectúa la suma de precipitaciones mensuales en todos los años completos y se obtiene la lluvia mensual promedio.
- Se calculan los porcentajes mensuales de precipitación, los que serán igual a la lluvia mensual entre el promedio mensual calculado en el paso anterior y por 100. Al sumar los porcentajes calculados y obtener su promedio deberán de obtenerse 1200 y 100 respectivamente.
- Todos los porcentajes mensuales correspondientes a cada uno de los doce meses se suman y se divide tal suma entre el número de años completos, esto es, se calcula el porcentaje promedio que se denomina S_i , con i variando de 1 a 12, uno para enero y doce para diciembre.

El método acepta la hipótesis que considera que los meses desconocidos tendrán un porcentaje igual al porcentaje promedio S_i .

Se designan las variables siguientes:

i =	cada uno de los meses desconocidos, como máximo pueden ser once.
P_i =	precipitación mensual desconocida en cada año incompleto, en milímetros.
ΣS_i =	suma de los porcentajes promedio de los meses cuya precipitación se desconoce, en porcentaje.
ΣP =	suma de las precipitaciones mensuales conocidas en los años incompletos, en milímetros.
S_i =	porcentaje promedio asignado a cada uno de los meses desconocidos o faltantes.

De acuerdo a las variables anteriores se puede establecer la siguiente ecuación:

$$P_i = \left\{ \frac{\Sigma P}{1200 - \Sigma S_i} \right\} S_i \quad (3)$$

La expresión entre paréntesis es una cantidad constante para cada año incompleto, por lo que finalmente se tiene:

$$P_i = k * S_i \quad (4)$$

- **Regresión lineal**

Para completar registros anuales en uno o más años, seguidos o intercalados, el uso de la regresión lineal entre la estación incompleta y otra u otras cercanas, es de enorme ayuda para estimar los valores faltantes. La correlación extendida permite medir el grado de asociación o dependencia entre los datos de las estaciones que se analizan.

Para un conjunto de parejas de valores correspondientes a dos variables x e y, la ecuación general de la recta que las relaciona será:

$$y = mx + b \quad (5)$$

Cuando las distancias de cada punto a la recta de regresión, se miden paralelamente al eje de las ordenadas, la pendiente m se evalúa con la fórmula siguiente:

$$m = \frac{S_{xy}}{S_x^2} \quad (6)$$

Siendo:

(Covarianza)
$$S_{xy} = \frac{1}{n} \sum x_i y_i - (\bar{x})(\bar{y}) \quad (7)$$

(Varianza de las x)
$$S_x^2 = \frac{\sum x_i^2}{n} - (\bar{x})^2 \quad (8)$$

(Media de las x)
$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (9)$$

(Media de las y)
$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} \quad (10)$$

La ordenada al origen b se calcula con la ecuación siguiente:

$$b = \bar{y} - m\bar{x} \quad (11)$$

El coeficiente de correlación lineal (r_{xy}) es una medida numérica de la correlación entre dos variables, el cual se calcula como:

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_x^2 S_y^2}} \quad (12)$$

Donde

$$S_y^2 = \frac{\sum y_i^2}{n} - (\bar{y})^2 \quad (13)$$

El coeficiente de correlación puede fluctuar de -1 a +1 para la correlación perfecta, según sea inversa o directa y adopta un valor de cero para la correlación nula.

Debido a que el coeficiente de correlación r_{xy} se calcula con base en una muestra relativamente pequeña, tal coeficiente es únicamente una estimación del valor verdadero o poblacional (ρ_{xy}) y por lo tanto, habrá necesidad de investigar si existe la posibilidad de que $\rho_{xy} = 0$, aunque $r_{xy} = 0$.

Caso de aplicación de los métodos temporales en la cuenca del río Bolaños:

La cuenca del Río Bolaños está comprendida en tres estados: Aguascalientes, Nayarit y Jalisco del cual drena 5,051. 93 km² .dentro de la Región Hidrológica Lerma-Santiago. La cuenca se localiza en terreno montañoso que forma parte de la Sierra Madre Occidental.



Figura 1. Localización de la cuenca del río Bolaños

Cuenta con 20 estaciones climatológicas según la base de datos del Extractor Rápido de Información Climatológica III (ERIC III). En la tabla 3 se muestra las estaciones y los datos que cuentan en el período de registro.

Tabla 3. Estaciones climatológicas en la Cuenca Bolaños con su ubicación y período de registro.

CLAVE	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
32002																										
32009																										
32019																										
32026																										
32030																										
32032																										
32037																										
32057																										
32070																										
32098																										
32100																										
32101																										
32106																										
32108																										
32113																										
32124																										

CLAVE	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
32130																									
32132																									
32133																									
32135																									
32136																									

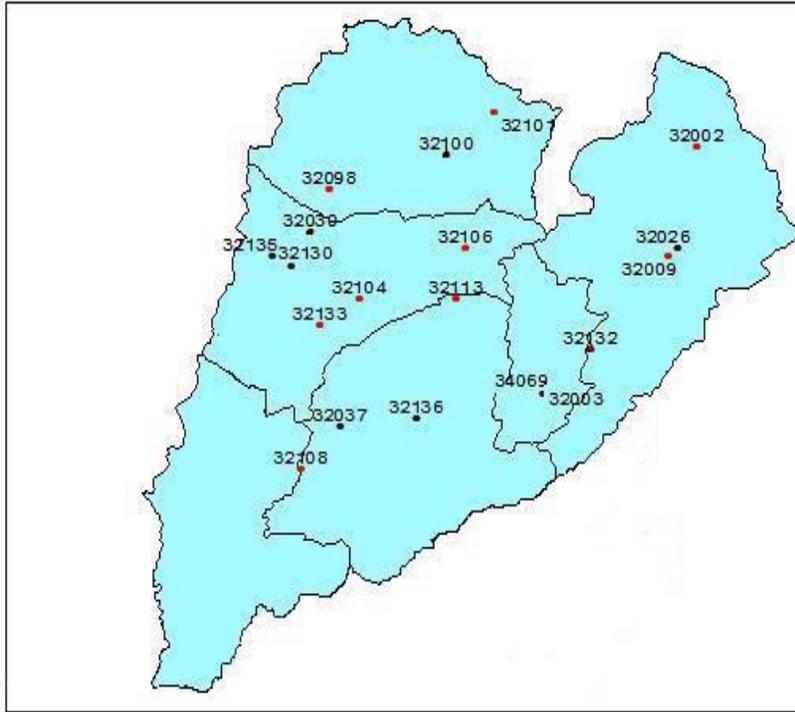


Figura 2. Localización de las estaciones climatológicas en la cuenca del río Bolaños

Resultados

Haciendo un análisis de la información existente en un periodo común de 25 años se considera que el lapso para completar la información faltante, usando las metodologías arriba expuestas será de 1978 al 2002.

Las estaciones 32002, 32009, 32098, 32101, 32108, y 32132 se completaron usando el método del promedio aritmético ya que existen estaciones con datos completos a su alrededor. Las estaciones que se completaron usando el método racional deductivo fueron la estación 32106, 32124 y 32133 ya que no es posible disponer de estaciones cercanas y circundantes a la estación incompleta. Los registros estimados a partir de los diferentes métodos temporales aplicados están en rojo y sombreados en cada una de las tablas siguientes.

Estación 32002			
Mes	1985	1986	1987
Enero	26.4	0	20
Febrero	0	11.7	6.6

Estación 32009				
Mes	1980	1981	1982	1986
Enero	22.7	53.5	17.8	0
Febrero	9.9	11.8	0	14.5

Estación 32002			
Mes	1985	1986	1987
Marzo	0	1.6	0
Abril	1	1.3	1
Mayo	12.8	6.4	16.6
Junio	59	23.5	58.1
Julio	123.2	35.4	101.8
Agosto	62.1	39.9	30.9
Septiembre	34.3	20.7	107
Octubre	89.4	13.7	0
Noviembre	64.5	3.6	5.2
Diciembre	11.5	3.8	20

Estación 32009				
Mes	1980	1981	1982	1986
Marzo	0	2	0	0
Abril	0	3.2	0	7
Mayo	1	4.3	4	31.5
Junio	62.5	65.5	10	166
Julio	99	158	91.5	125
Agosto	102.6	59.5	69.4	66.2
Septiembre	70.6	84.2	34	135
Octubre	33.3	45.1	50.5	39
Noviembre	10	8.5	53	12.8
Diciembre	25.2	25.5	11.5	20.8

Estación 32098	
Mes	1986
Enero	6.4
Febrero	1
Marzo	0
Abril	1
Mayo	12.8
Junio	49
Julio	23.2
Agosto	52.1
Septiembre	24
Octubre	49.4
Noviembre	64.5
Diciembre	14.5

Estación 32101				
Mes	1985	1986	1987	1988
Enero	34.3	0	128	2.6
Febrero	0	0	32.5	0
Marzo	0	0.5	0	4
Abril	0	0	0	7
Mayo	0	20	0	0
Junio	30	31.2	147.4	224
Julio	265	57.6	271.6	163
Agosto	76	49.5	157	142
Septiembre	28	35.1	165.8	111.6
Octubre	60	21.4	101	30
Noviembre	50	4.6	21.7	14.6
Diciembre	18.1	7.3	47.4	23.3

Estación 32108	
Mes	1986
Enero	17
Febrero	11.4
Marzo	0
Abril	0
Mayo	0
Junio	0
Julio	30

Estación 32132	
Mes	2002
Enero	17
Febrero	11.4
Marzo	0
Abril	0
Mayo	0
Junio	0
Julio	30

Agosto	22
Septiembre	21
Octubre	28
Noviembre	50
Diciembre	11.4

Agosto	22
Septiembre	21
Octubre	28
Noviembre	50
Diciembre	11.4

Estación 32106	
Mes	1986
Enero	0
Febrero	11.7
Marzo	3.6
Abril	2.3
Mayo	8.4
Junio	33.5
Julio	45.4
Agosto	49.9
Septiembre	19.8
Octubre	13.7
Noviembre	2.6
Diciembre	1.8

Estación 32124			
Mes	1978	1990	1994
Enero	0	0	5.1
Febrero	0	0	66.7
Marzo	0	0	0
Abril	0.9	0	12.1
Mayo	3.7	4.9	18.9
Junio	77.2	172	79.6
Julio	0	91.1	151
Agosto	55.7	69.7	179
Septiembre	0	51	107
Octubre	0	28.2	38.3
Noviembre	0	0	8.8
Diciembre	0	9.2	42.4

Estación 32133	
Mes	1986
Enero	0
Febrero	0
Marzo	0
Abril	0.9
Mayo	3.7
Junio	77.2
Julio	0
Agosto	55.7
Septiembre	0
Octubre	0
Noviembre	0
Diciembre	0

Conclusiones

Por lo que respecta a los métodos para datos temporales para la interpolación de los datos faltantes con aplicaciones de diversas áreas, se puede afirmar por lo que respecta en la hidrología superficial en algunas ocasiones se vuelven una herramienta fundamental para realizar cálculos de estimación de eventos. En la aplicación de los mismos en la cuenca piloto se utilizaron registros mensuales en un período común de 25 años (1978-2002). El empleo de datos para la estimación de datos temporales y complementación de registros hidrológicos permite contar con bases de datos de buena calidad, en particular de datos en forma de series de tiempo de larga duración, que finalmente facilite el trabajo del hidrólogo.

El Método Racional Deductivo resultó el de mayor aplicación para completar los registros de algunas estaciones, para de este modo dar paso a la interpolación de los métodos espaciales, que como su nombre lo indica, requieren forzosamente de las coordenadas geográficas de las mismas para realizar su cálculo. Se recomienda ampliamente la aplicación de los métodos a diferentes cuencas del país para así disponer de registros completos.

Bibliografía

- Campos A., Daniel, F., 1983, "Procesos del Ciclo Hidrológico", Editorial Universitaria Potosina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Capítulo 4.
- Campos A., D. F. (1998), *Procesos del ciclo hidrológico*, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, S. L. P., México.
- Chow, V. T. (1964), *Handbook of applied hydrology. A compendium of water-resources technology*, Editor in chief, McGraw-Hill, N. Y., U. S. A.
- -Gómez V. Manuel. 2008. *Curso de Hidrología urbana. Flumen. Cataluña Espana.*
- Mesa Sánchez, O. J., Poveda, G. y Carvajal, L. (1997) *Introducción al clima de Colombia.* Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín
- Ponce Victor M. 1989. *Engineering Hydrology: Principles and practices.* Prentice Hall N.J. USA
- Rodriguez-Iturbe, I., y Mejia, J. M. (1973), *The design of rainfall networks in time and space*, Report No. 176, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, U. S. A.
-