

Estimación de datos faltantes de precipitación diaria para las distintas ecorregiones de la República Argentina

Matías Rodrigo Antelo y María Elena Fernández Long

Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (FAUBA)

E-mail: anteloma@agro.uba.ar

RESUMEN: Los registros de precipitaciones diarias son, en muchos casos, datos necesarios para llevar a cabo trabajos de investigación y para la elaboración de productos como el balance de agua del suelo. En numerosas ocasiones estas series no se encuentran completas y es necesario generar el dato a partir de la información existente. El objetivo de este trabajo es proporcionar un protocolo de trabajo que permita estimar los datos faltantes de precipitación diaria con un método de fácil aplicación, fundamentado y validado estadísticamente. Se estimaron los datos diarios de precipitación de 12 estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) ubicadas en cada una de las ecorregiones de la república argentina. Se utilizaron cuatro métodos existentes (método de la razón, método de análisis de regresión, método de cociente-normal y método de interpolación con otras estaciones) y además se propuso una metodología basada en campos homogéneos de correlación. Se trabajó además con 69 estaciones meteorológicas que se utilizaron como referencia para la estimación de los datos faltantes. Una vez obtenidos los resultados por los diferentes métodos, se analizó la bondad de los modelos a partir de diferentes estimadores de error. Los resultados muestran una gran heterogeneidad para todos los métodos y regiones. La metodología propuesta presenta una mejora en la correlación en 11 de las 12 series y, 9 de las 12 series presentaron un menor error absoluto medio. Se concluye que la metodología de interpolación con otras estaciones y de la razón son las que peor estimaron la precipitación diaria; mientras que la metodología propuesta, análisis de regresión y cociente-normal fueron las que presentaron el mejor ajuste. Sin embargo, existe una gran heterogeneidad de resultados en las 3 metodologías para las distintas ecorregiones.

INTRODUCCIÓN

Uno de los insumos imprescindibles para aproximarse al estudio y conocimiento de un fenómeno como la precipitación son los datos observados. A partir de su tratamiento e interpretación, es posible planear procesos y/o formular y plantear alternativas de solución, logrando finalmente, disminuir el grado de incertidumbre en la toma de decisiones. En la medida que los datos puedan proveer registros periódicos que den continuidad a las observaciones, será posible obtener resultados ajustados a la realidad del fenómeno que se estudia. Sin embargo, existen situaciones que provocan la falta de continuidad de las bases de datos disponibles que pueden afectar la calidad de las variables de estudio, obteniendo series de años discontinuas que limitan en gran medida los resultados para los que van a ser utilizados; tal es el caso de lo que sucede con las estaciones meteorológicas, que por distintas razones, provocan la ausencia de datos.

Para resolver este problema se han hecho diversos intentos tendientes a estimar las precipitaciones diarias para obtener una continuidad en la serie de datos, cabe citar el trabajo de Paulhus y Kohler (1952), en el cual

usan el método de la razón-normal. Este procedimiento estima cantidades de lluvia con base en tres estaciones cercanas y uniformemente espaciadas con respecto a la estación en estudio. Villalobos y Retana (1998) utilizan el método de la razón ajustada, que trabaja con los promedios de precipitación de años lluviosos, secos y normales en vez del promedio anual normal. Otros autores han recurrido al método de la razón (Barger, 1960; WMO, 1966; WMO, 1983; Alfaro y Pacheco, 2000), que se basa en el hecho que para pares de estaciones, la razón entre sus valores mensuales, anuales o medios, tiende a ser constante. Otro método propuesto por Paulhus y Kohler (1952), y utilizado también por Searcy y Hardison (1963), se basa en la interpolación del dato de lluvia faltante, como el promedio de la precipitación ocurrida en tres estaciones adyacentes que están bajo la misma influencia topoclimática.

La WMO (1983) y Allen y otros (2006) proponen utilizar la regresión lineal, aunque se sabe que raras veces se observa una relación lineal perfecta debido a que los fenómenos que se estudian en climatología son usualmente multivariantes. Sin embargo, se utilizó este método por ser el más simple y porque en algunas regiones de Sudamérica difícilmente se puede contar con una estación pluviométrica “cercana” a la estación de interés.

En la Argentina, Nadale (2004) demostró que la precipitación entre las diferentes localidades permite definir subregiones con características homogéneas, con correlaciones significativas en un área determinada. En base a esto se generó una nueva metodología propuesta por Antelo y Fernández Long (2013) de estimación de la precipitación diaria calculando el valor de la estación que no se conoce su valor, utilizando los datos observados de precipitación diaria de las estaciones adyacentes, asignándole a cada una un valor de ponderación obtenida con los valores de correlaciones.

Cabe aclarar que la elección del procedimiento para el manejo de datos incompletos resulta una tarea compleja, pues un mismo método en determinadas situaciones produce estimaciones precisas y en otras no. Esto sugiere a los investigadores que, cuando manejen datos incompletos, valoren previamente el uso de más de una alternativa para tratarlos y realicen un análisis de sensibilidad que les permita una mejor elección del procedimiento a implementar (Cañizares et al., 2004).

Por lo tanto el objetivo de este trabajo es proporcionar un protocolo de trabajo que permita estimar los datos faltantes de precipitación diaria con un método de fácil aplicación, fundamentado y validado estadísticamente para las distintas ecorregiones de la República Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con los datos de precipitación diaria de 71 estaciones meteorológicas pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) disponibles en el periodo de 1970-2012; de las cuales se eligieron 12 estaciones con el objetivo de que el análisis abarque las distintas ecorregiones que comprenden la República Argentina (Burckart et al., 1999). En la figura 1 se

muestran las 12 estaciones elegidas: La Quiaca, Gobernador Gregores, Bariloche, San Rafael, Santa Rosa, Santiago del Estero, Azul, La Rioja, Orán, Corrientes, Paso de los Libres e Iguazú (referenciados en el mapa con puntos de color azul) y por otro lado se eligieron 6 estaciones de referencias para cada una de ellas (referenciados en el mapa con puntos rojos) por su cercanía ya que es posible esperar un comportamiento similar, dentro de la misma área de influencia topoclimática. En la Tabla 1 se presentan las 12 estaciones y la ecorregión a la que pertenecen.

Tabla 1.- Ecorregiones correspondientes a para cada una de las estaciones meteorológicas utilizadas.

Estación Meteorológica	Ecorregión
Gobernador Gregores	Estepa Patagónica
Bariloche	Bosques Patagónicos
La Quiaca	La Puna
San Rafael	Monte de Llanuras y Mesetas
Santa Rosa	Espinal
Azul	Pampa
Santiago del Estero	Chaco Seco
La Rioja	Monte de Sierras y Bolsones
Orán	Selva de las Yungas
Corrientes	Chaco Húmedo
Paso de los Libres	Campos y Malezales
Iguazú	Selva Paranaense

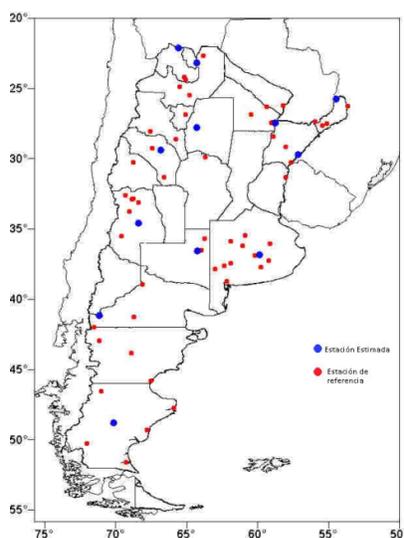


Figura 1.- Estaciones meteorológicas utilizadas, estaciones de referencia (rojo) y estación a estimar (azul).

Una vez que se determinó cada una de las estaciones de referencia necesarias para estimar las 12 estaciones, se calcularon cinco métodos de estimación de la precipitación: método por análisis de regresión (Allen et al., 2006), método de la Razón (Barger, 1960; WMO 1966; WMO 1983; Alfaro y Pacheco, 2000), método de

interpolación con otras estaciones (Paulhus y Kohler, 1952), método de cociente-normal (Paulhus y Kohler, 1952) y le método de campos homogéneos (Antelo y Fernandez Long, 2013).

Los métodos de estimación de la precipitación diaria utilizados son los siguientes:

Método por análisis de regresión (MRe)

Se requiere seleccionar una serie de datos con un comportamiento similar, dentro de la misma área de influencia topoclimática (referencia). La serie de datos de la referencia, debe contener el registro de datos completos en los periodos para los cuales faltan datos en la serie de estudio. Para este método se realiza un análisis de regresión lineal como figura en la ecuación 1 cuyos valores de la serie de referencia se denotan como X_i , y los de la serie de estudio (cuyos valores no están completos) se denotan como Y_i

$$Y = a + bx \tag{1}$$

Siendo $b = \frac{\text{cov}_{xy}}{S_x^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ (2) ; $a = \bar{y} - b\bar{x}$ (3)

Donde a y b son constantes de regresión que son calculados a través de las ecuaciones 2 y 3. covxy es la covarianza entre X_i y Y_i . Se deben representar todos los puntos x_i y y_i y la línea de regresión para el rango de valores observados, obteniéndose la media y desviación estándar de cada serie. Si las desviaciones con respecto a la línea de regresión incrementan a medida que aumenta, entonces la sustitución o estimación no es recomendable.

Método de la Razón (MRa)

Consiste en obtener la razón q, a partir de pares de estaciones meteorológicas, de modo que sus valores mensuales, anuales o medios tiendan a ser constantes.

Según este método, si se tienen dos estaciones (A y B), se requiere determinar q (ecuación 4) como la sumatoria de los datos de B, con la sumatoria de datos de A, de la siguiente manera:

$$q = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (4)$$

Donde n= número total de datos de la serie

b_i = dato i de la estación B

a_i = dato i de la estación A

Luego de estimar q, se obtiene, por medio de la ecuación 5, el valor faltante de la precipitación en la estación B de la siguiente manera:

$$b_j = q \times a_j \quad (5)$$

Este método es utilizado en la bibliografía consultada para rellenar medias de diferentes períodos, pero puede ser utilizado, además, para valores mensuales y anuales.

Método de interpolación con otras estaciones (MIn)

Este método de interpolación fue propuesto por Paulhus y Kohler (1952), el cual estima el dato faltante como el promedio de la precipitación ocurrida en tres localidades adyacentes (ecuación 6). Para obtener resultados razonablemente satisfactorios, es necesario que la precipitación anual difiera en menos del 10% de la precipitación anual de la estación con dato faltante.

$$D_j = \frac{a_j + b_j + c_j}{3} \quad (6)$$

Donde:

D : Precipitación estimada para el día j

a , b_j , c_j : precipitación registrada en las estaciones de referencia el día j

Método de Cociente-normal (MCN)

Este método fue también propuesto por Paulhus y Kohler (1952) y se aplica cuando la precipitación anual de cualquiera de las tres estaciones de referencia difiere menos del 10% de la estación con datos a estimar. Para ello se debe calcular primero los coeficientes presentados en las ecuaciones 8, 9 y 10 que corresponden a las relaciones existentes entre los valores de precipitación anual de la estación con los datos faltantes y la precipitación anual de las estaciones de referencia. Una vez obtenidos estos coeficientes, se reemplazan los valores en la ecuación 7 y se obtiene el valor de precipitación faltante DJ como la suma del producto de

precipitación ocurrida en la estación de referencia y el coeficiente estimado, dividida por 3 como se muestra a continuación.

$$D_J = \frac{a_j p_A + b_j p_B + c_j p_C}{3} \quad (7)$$

Donde:

$$P_A = \frac{\text{Pr ecipitacio n anual estacion dato fal tan te}}{\text{Pr ecipitacio n anual estacion referencia A}} \quad (8)$$

$$P_B = \frac{\text{Pr ecipitacio n anual estacion dato fal tan te}}{\text{Pr ecipitacio n anual estacion referencia B}} \quad (9)$$

$$P_C = \frac{\text{Pr ecipitacio n anual estacion dato fal tan te}}{\text{Pr ecipitacio n anual estacion referencia C}} \quad (10)$$

D_j : Precipitación estimada para el día j

a_j, b_j, c_j : precipitación registrada en las tres estaciones de referencia el día j

Método de campos homogéneos (MCH)

Este método propone, en primer lugar, obtener campos homogéneos de correlación. Y en segundo lugar, en base a los resultados obtenidos, se seleccionan para cada una de las estaciones que se pretende estimar el dato faltante de precipitación diaria, las estaciones adyacentes con mayor grado de correlación. Una vez obtenidos los valores de correlación (r), se calcula el grado de ponderación que se le va a otorgar a cada estación de referencia de la siguiente manera:

$$W_1 = \frac{r_1}{r_1 + \dots + r_n}$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

$$W_n = \frac{r_n}{r_1 + \dots + r_n}$$

Donde W_i = ponderación de la estación i

r_i = coeficiente de correlación entre la precipitación de la estación i y la estación a estimar

Una vez calculadas las ponderaciones correspondientes para todas las estaciones pertenecientes al campo homogéneo, se procede a calcular la estimación de la precipitación diaria de la estación con dato faltante, realizando la sumatoria del producto entre el valor de precipitación con su respectiva ponderación como se presenta en la ecuación 11.

$$PP_i = PP_1 \times W_1 + \dots + PP_n \times W_n \quad (11)$$

Donde PP_i = Precipitación diaria que se pretende estimar.

W_1, \dots, W_n = ponderaciones correspondientes a las localidades de referencia.

PP_1, \dots, PP_n = dato de precipitación diaria de las localidades de referencia.

Una vez obtenidas las estimaciones de precipitación por los diferentes métodos, se analizó la bondad de los modelos preseleccionados a partir de diferentes estimadores de error: error cuadrático medio (RMSE, root mean square error), BIAS o sesgo, error absoluto medio (MAE, mean absolute error) y el índice de ajuste (IOA, index of agreement) definidos por Pielke (1984) y Stauffer y Seaman (1990).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados se presentan organizados por cada una de las 12 estaciones meteorológicas pertenecientes a las distintas ecorregiones de la Argentina. Se muestran los índices de error para los cinco métodos calculados de estimación de la precipitación.

En las tablas 2 y 3 se presentan los resultados de las estaciones meteorológicas de Gobernador Gregores y Bariloche, pertenecientes a las ecoregiones Estepa Patagónica y Bosques Patagónicos respectivamente. Para las dos estaciones se observa que el MCH presenta mayores correlaciones, principalmente comparado con MIn y MCN; las cuales al ser metodologías que requieren de gran cantidad de estaciones para su cálculo, son limitadas por la poca cantidad de estaciones meteorológicas de la zona, siendo necesaria la utilización de estaciones que se encuentran a mayor distancia donde es posible esperar patrones de comportamientos distintos.

Tabla 2.- Estación Meteorológica Gob. Gregores (Santa Cruz) Ecorregión de la Estepa Patagónica.

Gobernador Gregores	MCH	MRa	MRe	MIn	MCN
BIAS	0,23	-0,13	-0,07	0,22	-0,07
MAE	0,73	0,52	0,63	0,73	0,58
RMSE	1,99	1,83	1,81	2,04	1,83
r	0,44	0,42	0,42	0,41	0,40

Tabla 3.- Estación Meteorológica Bariloche (Rio Negro) Ecorregión de la Bosques Patagónicos.

Bariloche	MCH	MRa	MRe	MIn	MCN
BIAS	-1,20	0,09	-0,12	-1,57	-0,13
MAE	1,97	2,29	2,53	2,22	2,84
RMSE	5,55	6,93	5,42	6,21	7,92
r	0,60	0,60	0,60	0,48	0,33

Por otro lado, analizando los estimadores de error se observó que para el BIAS en el MCH muestra subestimaciones de la precipitación con valores de -1,20 mm para la localidad de Bariloche y sobreestimaciones de 0,23 mm para Gobernador Gregores, siendo estos valores los de mayor magnitud de error en la mayoría de los casos. Con respecto al MAE y RMSE a diferencia del BIAS mostró una gran variación de respuestas a los distintos estimadores de error, con una mejor respuesta en el MAE para Gobernador Gregores con el MRa y en Bariloche con el MCH. Por último, el RSME en ambas localidades es el MRe el que presenta valores más bajos de error.

En la tabla 4 se presentan los resultados de San Rafael (Mendoza) perteneciente a la ecorregión de Monte de Llanuras y Mesetas. Para este caso se observó una mejora tanto en el valor de correlación como también del MAE y RMSE para la MCH; siendo el BIAS o sesgo el único que presento una mayor magnitud del error subestimando la estimación de la precipitación diaria en -0,26 mm.

Tabla 4.- Estación Meteorológica San Rafael (Mendoza) Ecorregión de Monte de Llanuras y Mesetas.

San Rafael AERO	MCH	MRa	MRe	MIn	MCN
BIAS	-0,26	0,19	-0,01	-0,24	0,05
MAE	1,17	1,60	1,58	1,19	1,35
RMSE	4,44	7,23	4,61	4,49	4,91
r	0,38	0,24	0,24	0,36	0,35

Para las tablas 5 y 6, que pertenecen a la región pampeana la cual está dividida en 2 ecorregiones, principalmente por Pampa y Espinal. Para ambas localidades muestra mejoras de la correlación con el MCH, observando buenos valores en ambos casos. Esto podría deberse principalmente a la gran cantidad de estaciones que se encuentran adyacentes y permiten una buena estimación de la precipitación diaria. Cabe destacar que para la localidad de Santa Rosa, a pesar de presentar un buen valor de correlación, este fue inferior comparado con MRa y MRe.

Con respecto a los estimadores de error se contempló una mejora del BIAS en el MCH en algunos casos, comparado con alguno de los métodos analizados, el cual arrojó valores de 0,16 y -0,13 sobreestimando y subestimando respectivamente en cada caso el valor diario de precipitación. Donde sí se observó una mejora fue para el MAE y RMSE en ambas localidades y solo en casos muy puntuales en Santa Rosa es mejorada por alguna otra metodología; caso que no pasa con la localidad de Azul donde tanto el MAE como el RMSE arrojó los valores más bajos de error con el MCH.

Tabla 5.- Estación Meteorológica Santa Rosa (La Pampa) Ecorregión Espinal.

Santa Rosa AERO	MCH	MRa	MRe	MIn	MCN
BIAS	0,16	0,03	-0,07	0,34	-0,08
MAE	1,52	1,19	1,52	1,86	1,65
RMSE	4,73	4,84	4,54	5,94	5,42
R	0,78	0,80	0,80	0,67	0,70

Tabla 6.- Estación Meteorológica Azul (Buenos Aires) Ecorregión de la Pampa.

Azul AERO	MCH	MRa	MRe	MIn	MCN
BIAS	-0,13	-0,05	-0,10	-0,19	-0,03
MAE	1,44	2,57	3,08	1,52	1,49
RMSE	4,68	8,26	7,48	5,07	4,83
r	0,86	0,58	0,58	0,83	0,85

Las tablas 7, 8, 9 y 10 pertenecen a la región del NOA (Noroeste Argentino) ocupadas por 4 ecorregiones distintas; por los montes de Sierras y Bolsones, Chaco Seco, Selva de las Yungas y la ecorregión de la Puna.

Para todos los casos se muestran mejoras en el valor de correlación del MCH. Cabe destacar el caso de La Quiaca que presentó valores de correlación muy bajos con todas las metodologías que se analizaron. Esto podría deberse a que no existen otras estaciones dentro de la misma ecorregión, y que los datos fueron estimadas a partir de estaciones con regímenes de precipitación diferentes. En estos casos los modelos pierden mucha precisión y aumentan los errores y los coeficientes de correlación son muchos más bajos.

Con respecto a los estimadores del error, se observó una mejora del MAE y RMSE del MCH con respecto al resto de las metodologías. En Santiago del Estero, La Rioja y Orán; caso contrario a lo que sucede con La Quiaca que arrojó mayores valores para ambos estimadores de error, debido a las razones mencionadas anteriormente. Por último, para el sesgo o BIAS se observan mejoras del MCH comparado con las otras metodologías analizadas, con subestimaciones de -0,20; -0,41 y -0,58 para Santiago del Estero, La Rioja y Orán respectivamente y una sobreestimación en el caso de La Quiaca de 1,43 mm.

Tabla 7.- Estación Meteorológica Stgo del Estero (Stgo. del Estero) Ecorregión de chaco seco.

Santiago del Estero AERO	MCH	MRa	MRe	MIn	MCN
BIAS	-0,41	0,22	0,02	-0,50	0,61
MAE	2,03	2,51	2,65	2,03	2,83
RMSE	6,91	8,98	6,95	7,00	12,01
r	0,42	0,38	0,38	0,40	0,23

Tabla 8.- Estación Meteorológica La Rioja (La Rioja) Ecorregión de Monte de Sierras y Bolsones.

La Rioja AERO	MCH	MRa	MRe	MIn	MCN
BIAS	-0,20	0,02	-0,05	-0,18	0,26
MAE	1,13	1,40	1,61	1,16	1,50
RMSE	4,51	5,60	4,95	4,64	6,93
r	0,57	0,43	0,43	0,54	0,39

Tabla 9.- Estación Meteorológica Orán (Salta) Ecorregión de Selva de las Yungas.

Orán AERO	MCH	MRa	MRe	MIn	MCN
BIAS	-0,58	0,33	0,10	-0,49	0,02
MAE	2,42	3,04	3,29	2,45	2,65
RMSE	8,74	11,37	9,37	8,76	8,99
R	0,62	0,53	0,53	0,61	0,61

Tabla 10.- Estación Meteorológica La Quiaca (Jujuy) Ecorregión de la Puna.

La Quiaca Obs.	MCH	MRa	MRe	MIn	MCN
BIAS	1,43	-0,23	-0,09	1,56	-0,02
MAE	2,63	1,38	1,55	2,81	1,50
RMSE	7,49	3,98	3,23	8,31	4,05
R	0,18	0,14	0,14	0,17	0,18

Las tablas 11, 12 y 13 pertenecen a la región del NEA (Noreste Argentino), dividida por varias ecorregiones, entre ellas el Chaco húmedo, Campos y Malezales y la Selva Paranaense.

Se observó que el MCH presenta una mejora en los 3 casos con altos valores de correlación en Corrientes y Paso de los Libres. Por otro lado, Iguazú arrojó bajos valores, esto se debe principalmente por ser una estación meteorológica de borde y, al igual a lo ocurrido con La Quiaca, genera una pérdida en la precisión de los modelos ya que no se conoce la dinámica de lo que ocurre a su alrededor.

Con respecto a los estimadores de error para el MCH, ocurre lo mismo que sucedía con las anteriores estaciones. El sesgo o BIAS muestra una mejora con respecto a algunas metodologías (principalmente comparado con el MIn) arrojando para los 3 casos errores que subestiman la precipitación diaria. El MAE y RMSE presentaron un comportamiento similar al ocurrido en la mayoría de los casos anteriores, mostrando una disminución de los errores.

Tabla 11.- Estación Meteorológica Corrientes (Corrientes) Ecorregión de Chaco Húmedo.

Corrientes AERO	MCH	MRa	MRe	MIIn	MCN
BIAS	-0,14	0,31	0,25	-0,16	0,11
MAE	2,15	2,32	2,52	2,18	2,24
RMSE	6,92	8,33	7,56	7,13	7,23
R	0,84	0,81	0,82	0,83	0,83

Tabla 12.- Estación Meteorológica Paso de los Libres (Corrientes) Ecorregión de Campos y Malezales.

Paso de los Libres AERO	MCH	MRa	MRe	MIIn	MCN
BIAS	-0,29	0,14	0,13	-0,36	0,00
MAE	3,23	3,41	3,99	3,21	3,38
RMSE	8,38	10,08	8,83	8,55	8,88
r	0,73	0,69	0,69	0,72	0,71

Tabla 13.- Estación Meteorológica Iguazú (Misiones) Ecorregión de la Selva Paranaense.

Iguazú AERO	MCH	MRa	MRe	MIIn	MCN
BIAS	-0,42	0,05	0,04	-0,46	-0,09
MAE	5,82	6,27	6,75	5,81	6,03
RMSE	14,34	16,21	12,93	14,30	14,73
r	0,35	0,33	0,33	0,35	0,35

Por último, y a modo de resumen, se realizó la tabla 13 la cual muestra la cantidad de casos donde cada uno de los métodos presenta los mejores resultados. Se observó que el MCH tanto para los estimadores de error, como sus correlaciones obtuvo la mayor cantidad de casos con mejores ajustes. Para 11 de las 12 localidades estudiadas en este trabajo, el MCH reveló los mayores valores de correlación. Con respecto a los estimadores de error se observó que el MAE en 9 de los 12 casos presentaron una disminución en el valor de error; y en RMSE 7 de ellos. El BIAS fue el único estimador de error en el cual no se encontró una mejora del MCH con respecto al resto de los métodos. De acuerdo con este estimador de error, el MCN es el mejor método, con 6 estaciones en las cuales esta metodología presenta la mejor estimación de la precipitación diaria.

Tabla 13.- Cantidad de casos (estaciones meteorológicas) donde el método considerado (MCH, MRa, MRe, MIn y MCN) presenta los mejores resultados.

casos	r	BIAS	MAE	RMSE
MCH	11	0	9	7
MRa	2	2	3	1
MRe	2	4	0	6
MIn	1	0	5	0
MCN	2	6	0	1

CONCLUSIONES

En este trabajo se compararon cinco métodos de estimación de la precipitación diaria a partir de datos de estaciones meteorológicas adyacentes. El análisis se llevó a cabo en las distintas ecorregiones de la Argentina y se utilizaron cuatro índices estadísticos para la comparación de los resultados. Se concluye que:

- El MCH es un buen estimador de la precipitación diaria y se puede aplicar a todas las estaciones meteorológicas de las distintas ecorregiones que integran la República Argentina.

- El MCH presenta mayores valores de correlación en 11 de las 12 estaciones meteorológicas estudiadas. Si bien el MCH arrojó valores de errores mayores para el BIAS que otras metodologías, los valores oscilan entre 1,43 mm y -1,20 mm.

- Además, el MCH muestra la mayor cantidad de casos con RMSE y MAE menores.

- Se encontró una gran limitante para estimar los datos faltantes de precipitación con algunas de las metodologías existentes en algunas de las estaciones meteorológicas debido a la falta de estaciones meteorológicas cercanas cuando se requiere de varias estaciones de referencia para su estimación. Por último, cabe destacar que estos métodos presentan baja confiabilidad en la estimación de datos para estaciones meteorológicas de borde, como La Quiaca o Iguazú, donde no se cuenta con estaciones adyacentes alrededor; y para aquellas que se encuentran muy distantes entre sí.

BIBLIOGRAFÍA

- Alafaro R; Pacheco, R. 2000. Aplicación de algunos métodos de relleno a series anuales de lluvia de diferentes regiones de Costa Rica. In: Revista Tópicos Meteorológicos, [online] Vol. 7, No.1, 2000; p. 42-45.
- Allen, R. G.; Pereira, L.S.; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo – Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje. N° 56, Roma. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2006. P227-240.
- Antelo, M.R y Fernandez Long, M.E 2013. Estimación de datos faltantes de precipitación diaria de Azul AERO (Buenos Aires). Jornada de los programas interdisciplinarios de la Universidad de Buenos Aires (PIUBAD). Buenos Aires – Argentina.
- Barger, L. and J. C. Nyhan, 1960. Climatology at work. Washington D.C. Estados Unidos.

- Cañizares, M.; Barroso, I.; Alfonso, K. 2004. Datos incompletos: Una mirada crítica para su manejo en estudios sanitarios. In: *Gac Sanit*, 18(1): p. 58-63, 2004.
- Burkart, R., Barbaro, N., Sanchez, R.O., Gomez, D. 1999. *Eco-Regiones de la Argentina*. Administración de Parques Nacionales-Programa de Desarrollo Institucional Ambiental. Buenos Aires. 43 pp.
- Nadale, C. A. 2004. *Variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones mensuales en la Región Pampeana Argentina*. Tesis de licenciatura en Ciencias de la Atmósfera. FCEyN, Universidad de Buenos Aires. Diciembre de 2004.
- Paulhus, J. L. H.; Kohler, M.A., 1952, Interpolation of missing precipitation records: U.S. Weather Bur. *Monthly Weather Rev.*, v. 80, p. 129-133.
- Pielke, R. A., 1984. *Mesoscale Meteorological modeling*. 1st edition Academic Press, New York, N.Y., 612 pp.
- Searcy, James H., Hardison, Clayton H. *Manual of hidrology*. 1963. General surface-water techniques. Double-mass curves. Washington (Estados Unidos). Department of Agriculture, 1963. P39-40.
- Stauffer, D. R., and N. L. Seaman. 1990. Use of four-dimensional data assimilation in a limited-area mesoscale model. Part 1: Experiments with synoptic-scale data. *Mon. Wea. Rev.* 118:1250-1277.
- WMO, 1966. *Some Methods of Climatological Analysis*. WMO - No. 199.TP. 103.
- WMO, 1983. *Guide to Climatological Practices*. WMO - No. 100.