

Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media

Filling series annual meteorological data by statistical methods in the coastal zone from Ecuador and Andes, and calculation of rainfall

David Vinicio Carrera-Villacrés¹, Paulina Valeria Guevara-García¹,
Lizbeth Carolina Tamayo-Bacacela¹, Ana Lucía Balarezo-Aguilar²,
César Alfonso Narváez-Rivera², Diana Rosa Morocho-López²

RESUMEN

En el Ecuador el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) mantiene registros climatológicos. Debido a la instrumentación usada en las estaciones existen datos que no fueron registrados y, al ser la única institución que provee dichos datos, para cualquier análisis es necesario completar la información faltante, homogenizarlo y validarlo por medio de diferentes métodos. Como área de estudio se analizaron dos sistemas hidrográficos en sectores importantes del Ecuador, en la zona costera la cuenca del río Milagro cuya función es la de servir como sistema de riego público de cultivos y, en la zona interandina la cuenca del río Ambi ubicada en el cantón Urcuquí. En este lugar se construye la Universidad Yachay con una inversión de más 15 mil millones de dólares. Los objetivos del presente trabajo fueron determinar el mejor método estadístico para el relleno de datos en dos zonas representativas y obtener a partir de estos datos el modelo más adecuado para calcular la precipitación media de cada cuenca. Así, se emplearon dos métodos, el de regresión lineal y el de la razón normal. Los datos se validaron mediante la prueba de rachas y curvas de doble masa. Para el cálculo de la precipitación media se realizaron el método aritmético, Polígonos de Thiessen e Isoyetas. Para el valor de la precipitación media de la cuenca del río Milagro y la cuenca del río Ambi el mejor método que se ajustó a la realidad geográfica y base de datos fue el método de Isoyetas.

Palabras clave: datos climáticos, meteorología, validación, homogeneización.

ABSTRACT

In Ecuador, the National Institute of Meteorology and Hydrology (INAMHI) maintains climatological records, however, due to issues of the instrumentation used in the stations there are data that were not registered, and being the only institution that provides such data for any analysis it is necessary to complete the missing information, homogenize and validate it through different methods. As an area of study, two river systems in important sectors of Ecuador, in the coastal area basin Milagro River were analyzed whose function is to serve as a system of public irrigation of crops and in the Andes basin called Ambi river located in canton Urcuquí. In this place, the Yachay University is built with an investment of over 15 billion dollars. The objectives of this study were to determine the best statistical method for filling data in two representative areas and obtain from these data the most appropriate to calculate the rainfall of each basin model. Thus, two methods, linear regression and the Reason-Normal were used. The data were validated by runs test curves and double mass. To calculate the arithmetic average precipitation method, and Isohyets Thiessen polygons were made. For the value of the average rainfall in the river Milagro and the river Ambi the best method it adjusted to the geographical reality and database was Isohyets method.

Key words: weather data, weather, validation, standardization.

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Quito-Ecuador.

² Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.

* Autor por correspondencia: dvcarrera@espe.edu.ec

Introducción

El INAMHI desde la década de 1960 se encarga de recopilar y publicar los datos meteorológicos en el Ecuador. La información antiguamente se registraba manualmente por el operario de la estación, lo que ocasionaba un error involuntario por diversos factores. Un estudio ambiental representativo requiere de datos históricos confiables y validados para poder realizar cualquier tipo de análisis (Carrera *et al.*, 2015), en este sentido, este trabajo pretende contribuir con algunas metodologías para tener la certeza de la calidad de los datos para calcular la precipitación media en dos cuencas importantes del Ecuador.

El organismo que se encarga de recomendar el manejo de la información es la Organización Mundial Meteorológica (OMM). Para la estimación de datos faltantes dentro de una serie temporal de valores existen procedimientos estadísticos que permiten considerar propiedades físicas de la estación en estudio para permitir la obtención de valores realistas y coherentes con los fundamentos físicos (OMM, 2006 y OMM, 2011).

De los métodos que se utilizan a nivel mundial para rellenar la información meteorológica se tiene el de regresión-correlación, que supone una relación lineal entre variables y por medio de una gráfica de dispersión establece el grado de relación mediante el coeficiente de correlación y proporciona una ecuación que permite calcular el valor faltante en función del dato de la estación de referencia. Otro método utilizado es el de la razón normal que permite calcular los valores faltantes con el uso de una fórmula matemática en función de datos promedios de dos estaciones de referencia (Monsalve, 2009 y Aparicio, 2012).

La precipitación es parte fundamental dentro del ciclo hidrológico ya que es la cantidad de agua que cae a la superficie terrestre y provee de agua dulce para el desarrollo de la vida. El cálculo del valor de la precipitación media se puede realizar mediante el uso de tres metodologías: el aritmético, polígonos de Thiessen, y el de isoyetas (Ven Te Chow, 2009; Monsalve, 2009 y Aparicio, 2012).

Los objetivos del presente trabajo fueron determinar la mejor metodología para el relleno de datos faltantes de la precipitación mensual para dos zonas representativas del Ecuador, sistema hidrográfico del río Milagro en el litoral y el sistema hidrográfico del río Ambi en la región andina, validando sus resultados y garantizando su

calidad y, calcular la precipitación media de estos sistemas hidrográficos por los métodos aritmético, polígono de Thiessen e Isoyetas, así, concluir la mejor aplicabilidad de cada uno de ellos conforme a la realidad de las zonas de estudio.

Material y Método

El sistema hidrográfico del río Milagro es considerado por la Secretaria Nacional del Agua del Ecuador (SENAGUA, 2009) como de nivel 4, parte de la cuenca del río Guayas que es la más grande del Ecuador con un área de 3.2891,38 km². La cuenca del Guayas representa el 12,83% del total del territorio ecuatoriano y alberga alrededor de 3.700.000 habitantes (INEC 2010) siendo la que mayor aporta al PIB y la de mayor crecimiento demográfico.

En la Figura 1 se observa el sistema hidrográfico del río Milagro y la ubicación de las Estaciones: M0037- Milagro (Ingenio Valdez), M1096-Guayaquil U. Estatal (Radio Sonda), M1095-Ingenio Aztra (La Troncal).

La cuenca del río Ambi se encuentra localizada en la provincia de Imbabura, conformada por los cantones: San Miguel de Urcuqui, Antonio Ante, Cotacachi y Otavalo, cubre 341,83 km² de extensión. Parte de la cuenca está conformada por la Ciudad del Conocimiento Yachay, abarca un área de 45,93 km². De acuerdo con la delimitación por la SENAGUA (2009) consta como parte de la Región Hidrográfica N° 1, con vertiente hacia el Pacífico y a su vez se encuentra en el nivel 3 en la Unidad Hidrográfica N° 154 perteneciente al río Mira con un total de 6.507,65 km².

En la Figura 2 se presentan las estaciones pluviométricas cercanas a la cuenca entre ellas tenemos: M0001-Inguincho, M0105-Otavalo, M0107-Cahuasqui-FAO, M0315-Pimampiro, M0009-La Victoria INERHI.

Para la investigación se solicitó información al INAMHI por medio de una solicitud verbal y se obtuvo acceso a las bases de datos de las diferentes estaciones, los archivos estaban en bloc de notas y fueron traspasados a excel, un formato más accesible para ejecutar el trabajo y, donde se verificó la falta de registros en las distintas estaciones.

Los resultados que se obtuvieron del relleno de datos se validaron para verificar si los valores se encontraban correctos, para lo que se utilizaron dos metodologías; la primera, fue la prueba de

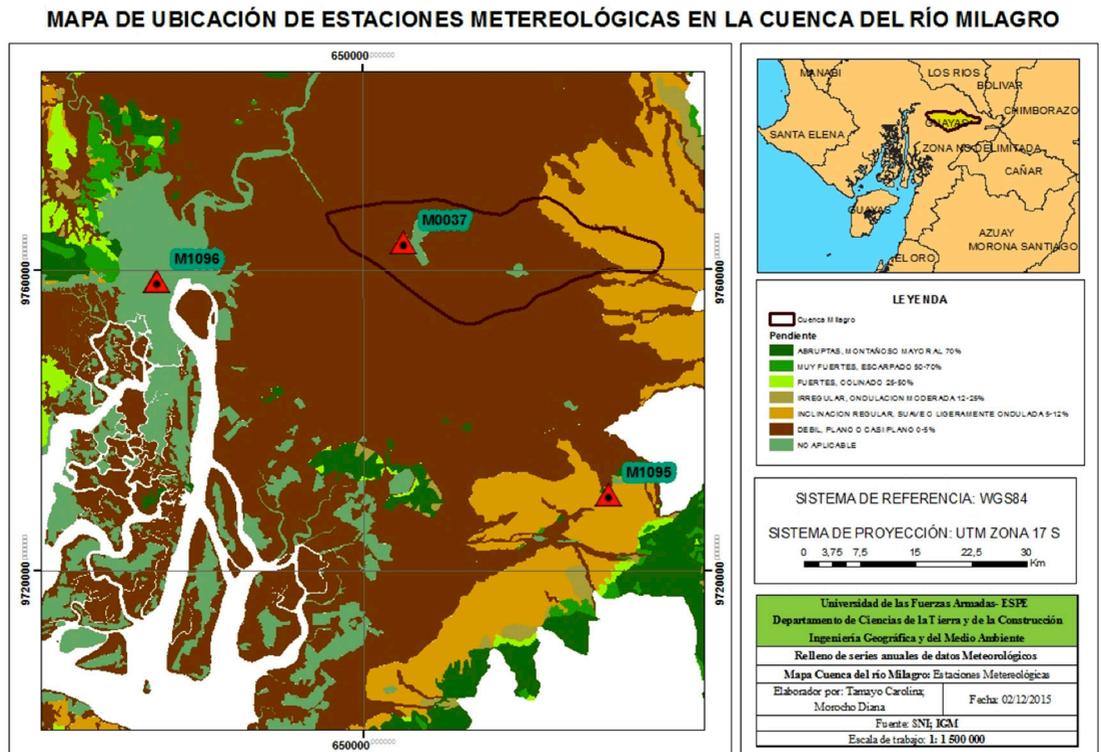


Figura 1. Mapa de ubicación de las estaciones pluviométricas para el sistema hidrográfico del río Milagro.

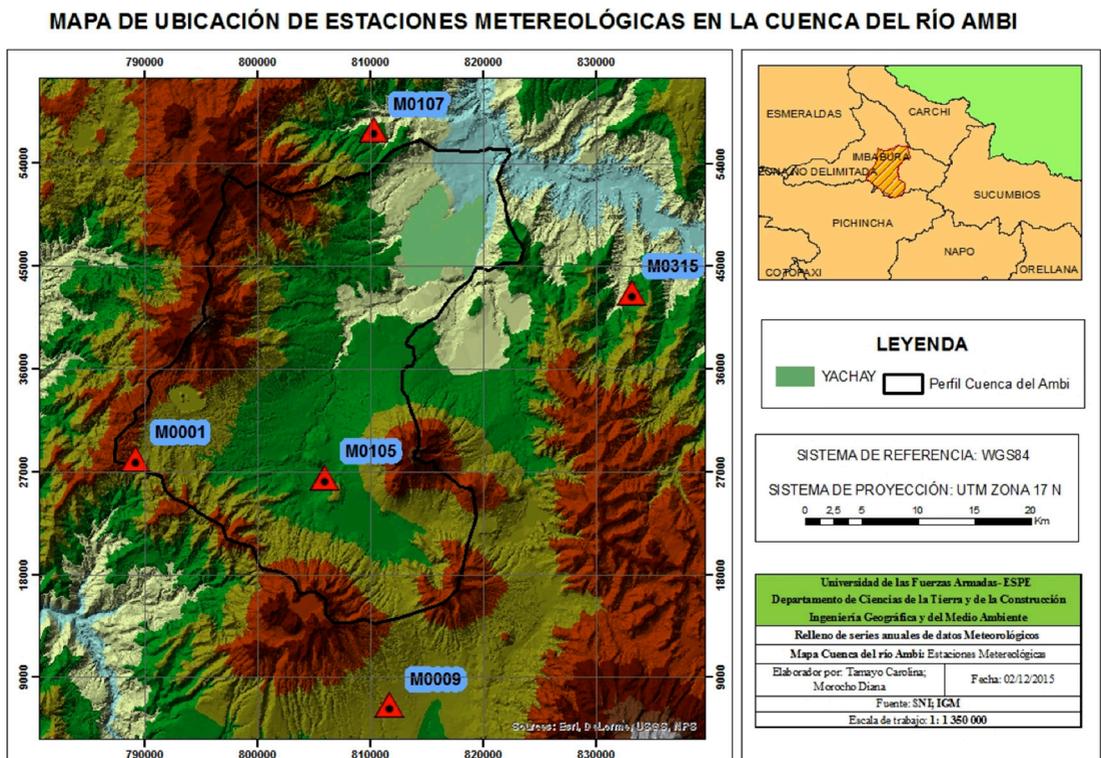


Figura 2. Mapa de ubicación de las estaciones pluviométricas para el sistema hidrográfico del río Ambi.

rachas, un método no paramétrico cuyo objetivo es verificar que las observaciones sean aleatorias, siendo una racha cada cambio de símbolo (Maya y Martín, 2005). Representado A: número de valores por encima de mediana (+) y B: número de valores por debajo de la mediana (-), NS: es el número de rachas. Siguiendo la distribución normal los valores de NA deben estar entre el 10% y 90% (Caballero, 2013).

El segundo método que se utilizó fue el de curva de doble masa o curva de acumulación, este método verifica la homogeneidad de los datos y que no existan anomalías durante algún período, consiste en construir una curva acumulativa de precipitación obteniendo una recta con el coeficiente de correlación cercano a uno (Monsalve, 2009).

Finalmente, con los datos de precipitación al nivel mensual completado, validado y homogeneizado se procedió a calcular la precipitación media anual con la finalidad de determinar la cantidad de agua que ingresa a los sistemas hidrográficos del río Milagro y del río Ambi. Se utilizaron tres métodos de cálculo: Aritmético, Polígonos de Thiessen e Isoyetas, en la Tabla 1 se indican las características y la aplicabilidad de cada método de acuerdo a Ven Te Chow (2009), Monsalve (2009) y Aparicio (2012).

Resultados y Discusiones

Rellenos de datos

Se utilizó el método de regresión lineal y el de la razón normal para el cálculo de los datos faltantes. La técnica de regresión lineal simple permite construir modelos para representar la

relación entre la variable independiente que es la que proporciona datos para el cálculo denotada con la letra X, y la variable dependiente que es la que se calcula denotada por la letra Y, para una mejor visualización se grafica el diagrama de dispersión. Para analizar la intensidad de la relación se calcula el coeficiente de correlación mediante la fórmula (1), se lo denota con la letra r y puede tomar valores entre -1, 0, +1. El valor cercano a cero indica que no existe ninguna correlación entre variables (Lind *et al.*, 2004).

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X\sum Y}{\sqrt{[n\sum X^2 - (\sum X)^2][n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (1)$$

Donde:

n: Número de observaciones.

El método de la razón normal se asemeja al método del cociente, emplea la razón de los valores normales de las estaciones próximas a la estación que se desea calcular y viene dada por la fórmula (2), se recomienda utilizar por lo menos tres estaciones auxiliares y se la emplea cuando la media de una de las estaciones piloto difiere en más del 10% de la media de la estación con datos faltantes (Guevara, 2003).

$$P_x = \frac{1}{n} \cdot \left[\left(\frac{N_x}{N_1} \right) P_1 + \left(\frac{N_x}{N_2} \right) P_2 + \dots + \left(\frac{N_x}{N_n} \right) P_n \right] \quad (2)$$

Donde:

n: número de estaciones pluviométricas con datos de registros continuos. P_x : Precipitación de la estación con datos faltantes (x) durante el período de tiempo

Tabla 1: Características de los métodos para el cálculo de la precipitación media.

Método	Características	Aplicabilidad
Aritmético	Igual influencia entre pluviómetros Menos exacto Más simple	Pluviómetros distribuidos uniformemente en la cuenca Topografía plana Variación pequeña entre las medidas pluviométricas
Polígono de Thiessen	Ponderación por ubicación de la estación en el área de la cuenca No considera topografía Mayor número de estaciones mayor exactitud Más exacto	Distribución no uniforme de pluviómetros en la cuenca Topografía plana
Isoyetas	Considera topografía Mayor número de estaciones mayor exactitud	Distribución no uniforme de pluviómetros en la cuenca Topografía plana y ondulada

a completar. P_1 a P_n : Precipitación de las estaciones auxiliares durante el período de tiempo a completar. N_x : Precipitación media anual de la estación (x). N_1 a N_n : Precipitación media anual de las estaciones auxiliares (Monsalve, 2009).

Para el relleno de datos del sistema hidrográfico del río Ambi se utilizó la estación M0009, como estación de referencia para el relleno del año 2014. En la Tabla 2 se presenta las estaciones de relleno en base a las estaciones auxiliares.

Para el relleno de datos del sistema hidrográfico del río Milagro se utilizó como referencia tres

Tabla 2. Número de estaciones con datos faltantes - Sistema hidrográfico del río Ambi.

Estación de relleno	Estación auxiliar	Total años incompletos
M315	M0009	8
M326		10
M105	M315	3
M0001		3
M107	M326	12

Tabla 3. Número de estaciones con datos faltantes - Sistema hidrográfico del río Milagro.

Estación de relleno	Estación auxiliar	Total años incompletos
M0037	M0195 M0196	2
M0195	M0037 M0196	7
M0196	M0037 M0195	8

estaciones para rellenar los datos faltantes entre ellas (Tabla 3).

Mediante el método de regresión lineal simple se realizó la Figura 3 en donde se observa que el valor de r para los datos del sistema hidrográfico del río Ambi es superior a 0,5 es decir, que los datos poseen una correlación positiva de intensa a perfecta (Lind *et al.*, 2004). Por lo tanto, se procede a llenar los datos mediante la ecuación presentada en cada gráfica para cada estación. En la Tabla 4 se describe el número de datos rellenados por este método con sus respectivas ecuaciones. Así se realizó el análisis utilizando los promedios mensuales ya que a diferencia de la zona del Ambi, en Milagro ninguna estación presentó datos completos para el relleno.

El relleno de datos para el sistema hidrográfico del río Milagro por el método de regresión-correlación se presenta de acuerdo a las ecuaciones obtenidas de las dispersiones (Figura 4) y se observa el número de datos rellenados por el método de regresión para este sistema hidrográfico (Tabla 5).

Al realizar el relleno de datos por medio del método de la razón normal el sistema hidrográfico del río Milagro (Estación M 0036) y el río Ambi (Estación M0001) (Tablas 6 y 7).

Tabla 4. Proceso de cálculo por regresión lineal: río Ambi.

Estación	Ecuación	R	Datos rellenados
M315	$y = 0,6923x + 16,783$	0,9214	9
M0009	$y = 4,7426x - 65,039$	0,83	10
M105	$y = 2,2679x - 32,25$	0,9674	14
M0001	$y = 3,3682x - 44,073$	0,9686	11
M107	$y = 0,3193x + 9,487$	0,9094	48

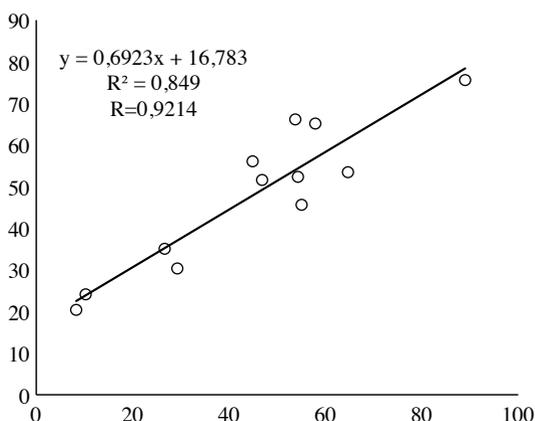


Figura 3. Regresión lineal: río Ambi-Relleno Estación M315.

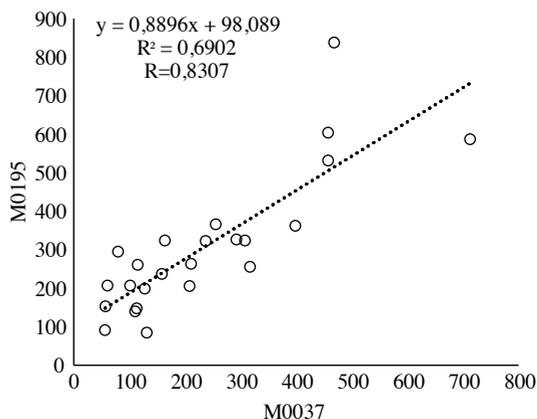


Figura 4. Regresión lineal: cuenca Río Milagro.

Validación de datos

Los datos obtenidos mediante el relleno por regresión lineal simple y por el método de la razón-normal se los validó mediante la prueba

Tabla 5. Proceso de cálculo por regresión lineal: río Milagro.

Mes	Estación	Ecuación	R	Datos rellenos
Enero	M0195	$Y = 0,8896X + 98,089$	0,831	2
	M0196	$Y = 0,6213X + 19,612$	0,870	4
Febrero	M0195	$Y = 0,7554X + 165,59$	0,700	3
	M0196	$Y = 0,7271X + 27,755$	0,840	3
Marzo	M0037	$Y = 0,7119X + 199,24$	0,850	1
	M0195	$Y = 0,7119X + 199,24$	0,850	1
	M0196	$Y = 0,7871X + 31,744$	0,869	4
Abril	M0195	$Y = 0,931X + 125,7$	0,817	1
	M0196	$Y = 1,1016X + 20,141$	0,938	3
Mayo	M0195	$Y = 1,1969X + 69,626$	0,799	2
	M0196	$Y = 0,4767X + 18,547$	0,780	5
Junio	M0195	$Y = 0,2516X + 4,6866$	0,837	2
	M0196	$Y = 1,5537X + 20,077$	0,700	3
Julio	M0195	$Y = 0,6794X + 9,2847$	0,955	1
	M0196	$Y = 0,5082X + 0,0605$	0,996	3
Agosto	M0195	$Y = 0,3287X + 0,0371$	0,994	1
	M0196	$Y = 4,0144X + 6,4027$	0,989	5
Septiembre	M0195	$Y = 1,399X + 9,9017$	0,992	2
	M0196	$Y = 0,1127X + 0,4457$	0,959	3
Octubre	M0195	$Y = 2,6598X + 3,7933$	0,932	1
	M0196	$Y = 3,8459X + 10,431$	0,947	4
Noviembre	M0195	$Y = 1,1971X + 14,833$	0,999	1
	M0196	$Y = 0,946X + 0,8536$	0,999	4
Diciembre	M0037	$Y = 0,7164X + 38,658$	0,958	1
	M0195	$Y = 0,7164X + 38,658$	0,958	2
	M0196	$Y = 0,7693X + 12,811$	0,986	3

de rachas, para lo cual se calculó la media anual de cada estación y se procedió a calcular el valor NA, NB y NS como se observa en la Tabla 8. De una manera similar se realizó el análisis para la estación M0037.

Después de determinar el número de rachas mediante la distribución normal se obtiene que los datos se encuentran en el rango del 10% y 90%.

El siguiente método que se utilizó para validar los datos fue el de curva de doble masa o de acumulación. La precipitación acumulada se calculó tanto de la estación que va a ser rellena como de la estación auxiliar. En las Figuras 5 y 6 se presentan las gráficas de la dispersión del sistema hidrográfico del río Ambi y del río Milagro respectivamente, así, se puede concluir que el coeficiente de correlación es cercano a la unidad cumpliéndose la validación.

Cálculo de precipitaciones media

La información del INAMHI fue completada, homogenizada y validada con las metodologías que propone la OMM, por consiguiente, se procedió a utilizar estos datos para calcular la precipitación promedio de los sistemas hidrográficos del Ambi y de Milagro.

El primer método que se utilizó fue el Aritmético en la Tabla 9 se presentan los resultados de los sistemas hidrográficos estudiados.

El segundo método que se utilizó fue el polígonos de Thiessen, el cual se adapta mejor a pendientes planas, en las Figura 7a y 7b se presenta los polígonos generados en los sistemas hidrográficos del río Ambi y del río Milagro respectivamente.

Tabla 6. Relleno de datos por el método de la razón - normal, cuenca del río Ambi- M0001.

M0001													
Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Prom
1977	51,7	124,5	115,03	165,3	70	61	1,9	44,1	120,9	179,8	96,2	165,9	99,69
1994	347,9	166,29	614,1	139	124,7	19,8	7,6	6,3	15	74,9	277,3	101,5	157,87
2014	173,7	88,3	60,83	57,59	186,54	63,83	15,84	22,89	0	62,68	42,32	83,15	71,48
M315													
1977	3,7	65,7	22,3	54	16,9	11,5	6,5	35,4	43,7	25	30,1	41,1	29,66
1994	76,1	37	98,8	123,8	49,2	20,6	38,3	65,5	12,7	66,1	76,2	17,1	56,78
2014	66,3	41,6	52,6	49,8	161,3	55,2	13,7	19,8	-	54,2	36,6	71,9	56,63
M0105													
1977	57,7	23,3	99,7	98,6	53,9	73,1	11,1	33	79,6	97,2	28,4	68,4	60,33
1994	153,9	127,2	136,6	105,7	91,4	6,2	3,5	9,8	54,9	65,4	189,9	97,1	86,8
2014													

Estaciones auxiliares

Tabla 7. Resultados de relleno por razón normal - Subcuenca río Milagro - Estación M0037.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1989	520,3	471,1	305	234	36	3,5	0	0	0	1,10	1,10	1,6
1990	56,3	302,7	177,6	110,8	28,4	43,8	0,2	0,1	0,4	4,5	0,5	67,9
1991	60,5	448,4	222,4	10,8	25,7	1,4	1,4	0,4	0,9	0,6	1,7	58,8
1992	127,3	628,7	687,5	506,4	382,4	11,8	5,9	0,3	0,1	0,7	3,7	4,2
1993	237,6	669,6	389,5	275,8	59	0,5	1,1	0	0	2	0,4	147
1994	255	317,7	264,2	199,3	43,9	0,2	0	0	0,2	0,6	4,4	139
1995	308,1	203,2	159,7	108	15,6	0	3,9	0,1	0,6	0,2	2,1	17,6
1996	79,5	355,7	338,6	42	0,8	0,1	0,5	0	0,1	0	1	8,6
1997	208,6	487,2	680	381,5	99,5	200,5	156,3	31,7	127,1	30,5	551,2	595,5
1998	712,7	846	966,4	957,3	517,8	91,4	33,8	0	0,5	0,4	0,9	3,20
1999	113,5	519,8	319,4	207,5	60,3	2,1	0	0	2,9	3,5	3,8	82,0
2000	110,1	221,4	284,9	164,1	134,1	5,9	0	0	3,5	2	0,1	4
2001	376	386,6	748,4	179,5	16,7	0	0,5	0	0	0,1	0	0,7
2002	57,1	590,2	594	278,8	6,5	5,8	0	0	0	5,3	0	55,9
2003	115,2	337	173,1	90,7	51,9	0,8	0,4	0	0	1,3	0	28,2
2004	107,7	275,4	332,7	145,6	66	2,3	1	0	5,9	1,5	0,4	20,6
2005	131	201,5	263,8	120	25	0	0	0,1	0	0	1,14	44,0
2006	316,9	573,8	339	20	56	2,1	0	1,4	0	0,1	2,7	23,2
2007	211,1	97,5	481,6	162	15,9	3	1,2	0	0	2,9	5,1	3
2008	468	669,8	619,2	272,9	48,4	1	0,2	0,6	2,9	2,5	0,4	0,1
2009	456,9	380,8	187,6	49,1	66,1	2,4	0,3	0,2	0	0,1	0	18
2010	163,5	464,9	238,4	330,5	34,8	1,3	3,3	0,7	0	0,2	7,1	124,8
2011	158,1	263,2	39,2	393,8	0,6	18,3	31,5	0,1	0	0	0,5	6,8
2012	457,5	806,2	494,1	223,1	85	0,4	0	0	0	4,9	0,4	6,1
2013	292	253,5	329,5	132,4	15,6	1,6	2	2,7	0,1	0	0	1,4
2014	398	301,5	125,4	53,7	262,3	3,1	1,5	1,1	2,9	11,4	0	0,06

Tabla 8. Prueba de rachas para la Estación M0001 con método de regresión lineal simple, cuenca del río Ambi. a) Estación con datos rellenos. b) Prueba de rachas.

M001 (a)														
Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Mediana	
1977	0	177,92	30,30	138,12	11,94	61	1,9	44,1	120,9	179,8	96,2	165,9	78,6	
1994	347,9	80,3	614,1	139	124,7	19,8	7,6	6,3	15	74,9	277,3	101,5	90,9	
2014	173,7	88,3	133,36	123,84	503,07	142,2	1,05	21,8	103,0	138,8	78,9	199	128,6	
(b)														
Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	NA	NS
1977	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	6	6
	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0		
1994	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	6	5
	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0		
2014	+	-	+	-	0	+	-	-	-	+	-	+	6	9
	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1		
TOTAL												18	20	

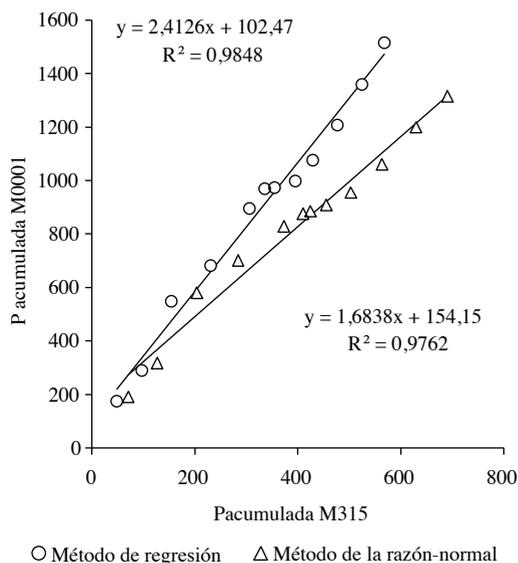


Figura 5. Curva de doble masa río Ambi, método de la razón normal y regresión.

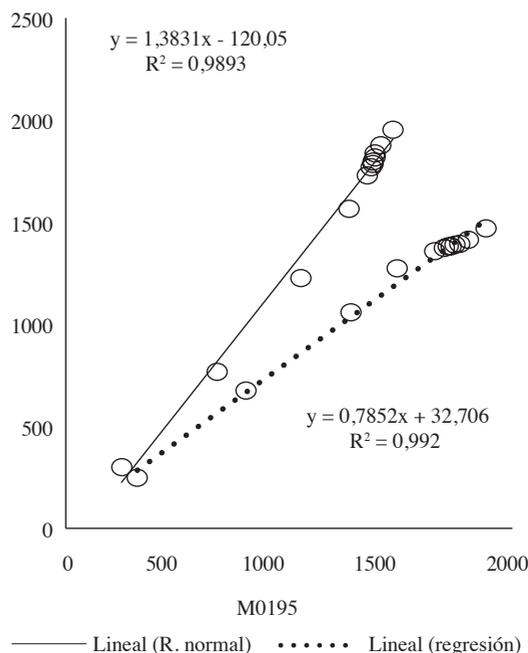


Figura 6. Curva de doble masa río Milagro, Método de la razón normal y regresión.

Tabla 9. Método Aritmético.

Sistema hidrográfico	Código INAMHI	Precipitación media anual (mm)	Precipitación Promedio (mm)
Ambi	M0001	1.297,8	788,49
	M0105	877,9	
	M0107	689,8	
	M0315	553,2	
	M0009	523,7	
Milagro	M0037	1.471,09	1522,49
	M1095	1.881,98	
	M1096	1.214,39	

En la Tabla 10 se indican los resultados del segundo método del sistema hidrográfico del río Ambi y del río Milagro.

El último método que se utilizó para calcular la precipitación media fue el de Isoyetas. En las Figuras 8a y 8b se indican las isolíneas resultantes para el sistema hidrográfico del río Ambi y Milagro respectivamente.

En la Tabla 11 se indican los resultados del tercer método del sistema hidrográfico del río Ambi y del río Milagro.

Tabla 10. Precipitación media del sistema hidrográfico de los ríos Ambi y Milagro por el método de Polígonos de Thiessen.

	Código	Precipitación	Área (km²)	Área ponderada	Precipitación ponderada (mm)
Sistema hidrográfico del río Ambi	M0001	1.297,8	134,2	0,15	196,7
	M0105	877,95	429,2	0,48	425,6
	M0107	689,82	271,9	0,31	211,8
	M0315	553,21	14,4	0,02	8,97
	M00009	523,69	35,8	0,04	21,2
	TOTAL			1	
Sistema hidrográfico del río Milagro	M0037	1.471,09	428,9	0,98	1.441,67
	M1095	1.881,98	10,92	0,02	37,64
	TOTAL			1	

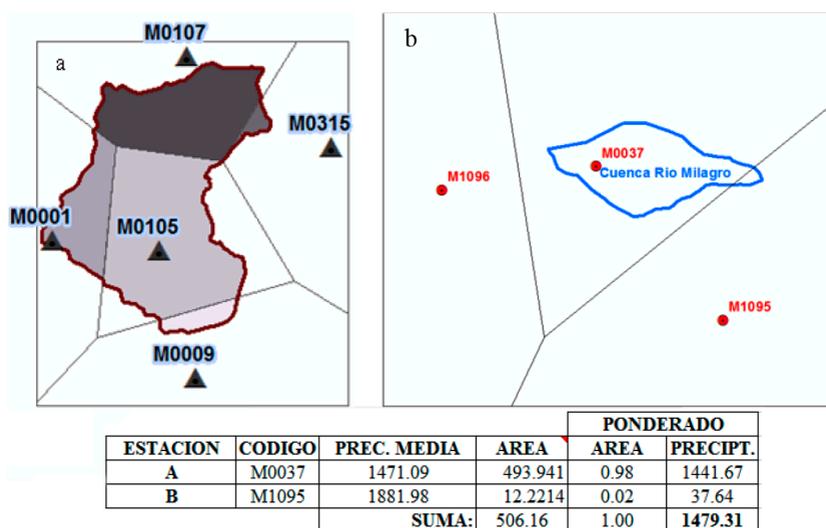


Figura 7. Polígonos de Thiessen sistemas hidrográficos. a) Ambi. b) Milagro.

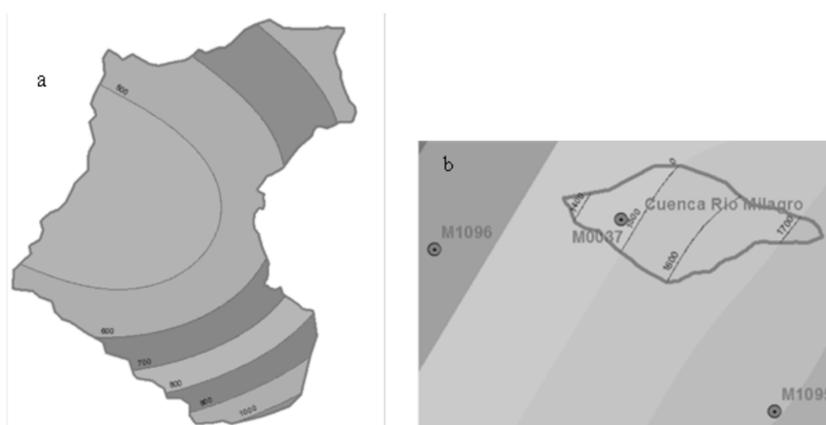


Figura 8. Isolíneas sistemas hidrográficos. a) Ambi. b) Milagro.

Tabla 11. Precipitación media del sistema hidrográfico de los ríos Ambi y Milagro por el método de las isólinas.

	Isolínea promedio	Área (km ²)	Área ponderada	Precipitación ponderada (mm)
Sistema hidrográfico del río Ambi	450	270,41	0,31	137,5
	550	282,03	0,32	175,2
	650	160,98	0,18	118,2
	750	94,91	0,107	80,41
	850	44,09	0,0498	42,33
	950	29,7	0,0335	31,9
	1.050	3,069	0,00346	3,64
	TOTAL		1	589,18
Sistema hidrográfico del río Milagro	1.350	10,00	0,02	27,00
	1.450	119,74	0,24	348,00
	1.550	205,11	0,41	635,00
	1.650	150,62	0,3	495,00
	1.750	20,66	0,04	70,00
	TOTAL		1	1.575,5

Conclusiones

Se determinó que la mejor metodología para el relleno de datos en series temporales para la región andina y costera del Ecuador es el método de regresión lineal simple debido a la gran cantidad de datos

faltantes que provee el INAMHI. Para el cálculo de precipitaciones medias de los sistemas hidrográficos analizados se determinó que el mejor método fue el de las Isoyetas. El sistema hidrográfico del río Ambi resultó una precipitación media anual de 589,18 mm y para el sistema hidrográfico del río Milagro 1.575,5 mm.

Literatura Citada

- Aparicio, F.
2012. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Editorial Limusa. Impreso en México, 303 p.
- Caballero, I.
2013. Análisis de la Homogeneidad de las Series de Precipitación de Guipúzcoa. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Agencia Estatal de Meteorología. Gobierno de España, 119 p.
- Carrera-Villacrés, D.; Crisanto, T.; Ortega, H.; Ramírez, J.; Ramírez, C.; Espinosa, D.; Ruiz, V.; Velázquez, M.; Sánchez, E.
2015. Salinidad cuantitativa y cualitativa del Sistema Hidrográfico Santa María-Río Verde, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4 (2): 69-83.
- Guevara, J.M.
2003. Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos (2ª edición). Caracas: Universidad Central de Venezuela, 133 p.
Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMH).
2015. Anuarios Meteorológicos entregados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito, Ecuador. Varios años.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador (INEC).
2010. Fascículo Provincial Guayas", Ecuador. p. 8.
- Lind, D.A.; Marchal, W. G.; Mason, R. D.
2004. Estadística para Administración y Economía (11ª edición). Colombia: Algaomega, p. 830.
- Maya, L.R.; Martín, F.
2005. Fundamentos de inferencia estadística (3ra edición). España: Thomson. p. 352.
- Monsalve, G.
2009. Hidrología en la Ingeniería. 2ª edición, séptima reimpresión. Impreso en Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. p. 382.
- OMM.
2011. Guía de Prácticas Climatológicas. OMM-N° 100. Organización Meteorológica Mundial (OMM). Ginebra, Suiza, 128 p.
- OMM.
2006. El Clima y la Degradación de las Tierras. OMM-N° 989. Organización Meteorológica Mundial (OMM). Ginebra, Suiza, 34 p.
- Secretaría Nacional del Agua del Ecuador (SENAGUA).
2009. Secretaría General de la Comunidad Andina, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Ecuador: Metodología PFAFSTETTER. Quito, Ecuador, 214 p.
- Te Chow, V.
2009. Open Channel Hydraulics. McGRAW-HILL. New York, USA, 680 p.