

**ANÁLISIS DE TENDENCIA EN LA PRECIPITACIÓN ANUAL (1964 – 2011)
EN LA CUENCA DEL PASTAZA-ECUADOR**

**ANALYSIS OF TREND IN ANNUAL PRECIPITATION (1964 - 2011)
IN THE PASTAZA-ECUADOR BASIN**

Calahorrano, Julia¹; Manzano, Mery¹; Gualli, Dolores¹; Silva, Fabián¹; Audelo, Mario²; Tingo, Javier¹

Resumen

La variación temporal y la distribución espacial de la precipitación en la cuenca del río Pastaza en Ecuador se investigó utilizando los registros diarios pluviométricos del periodo 1964-2011, provenientes de veinte y tres estaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Se aplicaron tres pruebas estadísticas para establecer la homogeneidad de los datos, estas fueron, t de Student, Cramer y Helmer. La prueba estadística de Spearman fue aplicada para establecer la tendencia temporal, mientras que el método de ponderación del inverso de la distancia se utilizó para revelar la tendencia espacial de los volúmenes de precipitación mensual y anual. La investigación muestra: (a) 30,4% de las estaciones presentan tendencias temporales positivas, 26,1% negativas y 43,5% no muestra tendencia durante el periodo 1964-2011; (b) la tendencia espacial en el periodo 1971–2011 revela montos pluviométricos mensuales entre 100 mm y 200 mm en las unidades hidrográficas Cutuchi, Ambato y Chambo ubicadas al nor y sureste de la cuenca; 100 mm a 500 mm mensuales en la unidad hidrográfica denominada Drenajes menores del río Pastaza al suroeste de la cuenca. Estos hallazgos proporcionan información importante que contribuye a la construcción de modelos regionales de cambio climático en zonas montañosas donde la topografía es un factor que provoca variabilidad espacial y temporal de la precipitación.

Palabras clave: Cuenca del río Pastaza en Ecuador, tendencia de la precipitación, series de tiempo, homogenización, variabilidad.

Abstract

The temporal variation and spatial distribution of precipitation in the Pastaza River Basin in Ecuador was investigated by utilizing dataset consisting of twenty three rain gauges, from the National Institute of Meteorology and Hydrology (INAMHI) during 1964 -2011. Three statistical tests were applied to establish the homogeneity of the data, these were: Student t, Cramer and Helmer. The statistical test of Spearman was applied to establish the temporal trend, while the method inverse distance weighting (IDW), was used to reveal the spatial trend of the volumes of annual precipitation. Analyses indicated that: (a) 30.4% of the twenty three stations experienced statistically positive temporary trends, 26.1% negative and 43.5% do not show a trend over the period 1964-2011; (b) The spatial trend in the period 1971-2011 reveals monthly pluviometric amounts between 100 mm and 200 mm in the Cutuchi, Ambato and Chambo hydrographic units located to the north and southeast of the basin; 100mm to 500 mm monthly in the hydrographic unit denominated smaller drainage of the Pastaza river to the southwest of the basin. These findings provide important information that contributes to the construction of regional models of climate change in mountain areas where the topography is a factor that leads to spatial and temporal variability of precipitation.

Key words: Cuenca of the Pastaza River in Ecuador, precipitation trend, time series, homogenization, variability

¹ Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador. jcalahorrano@unach.edu.ec

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

1. INTRODUCCIÓN

La lluvia es la principal variable meteorológica que interviene sobre el clima tanto espacial como temporalmente, e incide sobre las actividades humanas vitales como la agricultura (Priyan.K, 2015). Por lo tanto, uno de los retos que plantea la planificación hídrica en un contexto de cambio climático/variabilidad climática es, la determinación, identificación y cuantificación de las tendencias en las precipitaciones y sus implicaciones en las corrientes de ríos con el fin de ayudar en la formulación de medidas de adaptación a través de estrategias apropiadas para la gestión de los recursos (Taxak.A, 2014). El cambio climático, considerado como cualquier cambio en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a las variaciones naturales o como resultado de la actividad humana (IPCC, 2016), constituye un fenómeno del que se discute ampliamente a nivel mundial en los últimos años. Los análisis de las tendencias en la precipitación se han realizado a nivel global, regional y local. Entender entonces, la distribución espacial y la tendencia temporal de la lluvia de un periodo histórico, es importante, no solo para quienes estudian el clima, sino sobre todo para los tomadores de decisiones, entre los que se incluyen políticos, agricultores, empresarios, planificadores, etc.

El análisis de tendencias de precipitación del periodo 1901-2012, en la cuenca Wainganga en la India central (Taxak.A, 2014) muestra una tendencia al decremento. En Italia, se analizaron treinta y dos series de precipitación entre 1833 y 1996, (Buffoni L, 1999) y se observó que existe una tendencia negativa. En la cuenca alta del río Tennessee en Estados Unidos se analizaron datos de precipitación del periodo 1950-2009 (Jones J, 2015) donde se revela que la precipitación anual presenta tendencia positiva en el 52% de las subcuencas. La distribución de las tendencias anuales en esta cuenca varía debido a las variaciones climáticas topográficamente inducidas con tendencia a la baja que se concentra en la región de los Apalaches, que se encuentra principalmente en la zona oriental de la cuenca alta del río Tennessee. La disminución de la precipitación, es del orden del 10 % para NS anuales y de primavera y SS anual, mientras que es superior al 20 % para el otoño NS. En la región Pacífico Norte de México fueron analizadas 74 series de precipitación del periodo 1921-2004 (García F, 2009) donde se encontró que existen incrementos en las medias y medianas de la intensidad de lluvia, y a pesar de que los anuales de precipitación no han cambiado y el número de lluvias ha disminuido, su intensidad si se ha incrementado. En un estudio de la tendencia de la precipitación mensual en Venezuela (Guenni L, 2008) se tiene que si las tasas de disminución en la precipitación observadas en los

años recientes se mantienen en el futuro, en unos 50 años se vislumbra una reducción de 50 a 100 mm de precipitación anual en la zona norte y en gran parte de la región Andina. El análisis espacial de la precipitación, en la región montañosa de Hengduan en China, muestra distribución espacial de días secos con tendencia descendente del sudoeste al noreste sobre la región de estudio. Las estaciones experimentan una tendencia decreciente para días húmedos consecutivos centralizada en el sur y aumentos en las regiones central y norte. También se observó tendencia decreciente para días húmedos centralizada en el sur de la región de estudio y aumentos en estaciones distribuidos en las regiones central y norte (Zhang K, 2014). La distribución espacial para la precipitación anual en Irán presenta tendencias negativas en la región noroeste del país. Más aún la mayor parte de las estaciones situadas en las áreas costeras del Mar Caspio (norte de Irán) muestran tendencias negativas. Excluyendo la región central y algunos otros puntos, la precipitación anual decrece entre el 10% y 30% en el noroeste y sureste (Shifteh et al, 2012).

Para la cuenca del río Pastaza en Ecuador, la precipitación es un componente vital de la operación de muchos sistemas, como embalses, canales de riego, sistemas de agua potable, etc; además de los costos económicos asociados con la generación de energía hidroeléctrica, por lo que entender el la tendencia espacial y temporal de esta variable es importante. Con estas consideraciones, los principales objetivos de este estudio fueron: (a) determinar la tendencia temporal de la precipitación, a escala mensual y anual; y (b) analizar la tendencia espacial de la precipitación en la cuenca del río Pastaza.

2. METODOLOGÍA

2.1 Área de Estudio

La cuenca del río Pastaza recorre más de 700 km desde los Andes ecuatorianos hacia las planicies de inundación de Perú, donde se une al río Marañón y eventualmente al río Amazonas. La parte ecuatoriana del río Pastaza nace en la confluencia del río Patate y el río Chambo, al pie del volcán Tungurahua, fluye por la meseta y logra atravesar entre cañones la cordillera oriental de los Andes, bordeada por colinas escarpadas, bancos y cascadas (Conservation International, 2005). En Ecuador el río Pastaza, como eje principal de la cuenca del Pastaza, posee una longitud de 340 kilómetros. Se encuentra localizada en las coordenadas 77°50' 00" W latitud a 79°0'0.0" W y 0°35'0.0" S a 2° 0' 0.0" S longitud, comprende una superficie de 33.280 km² con elevaciones desde los 700 a 5.200 m.s.n.m. (Figura. 1) (HGPT, 2015).

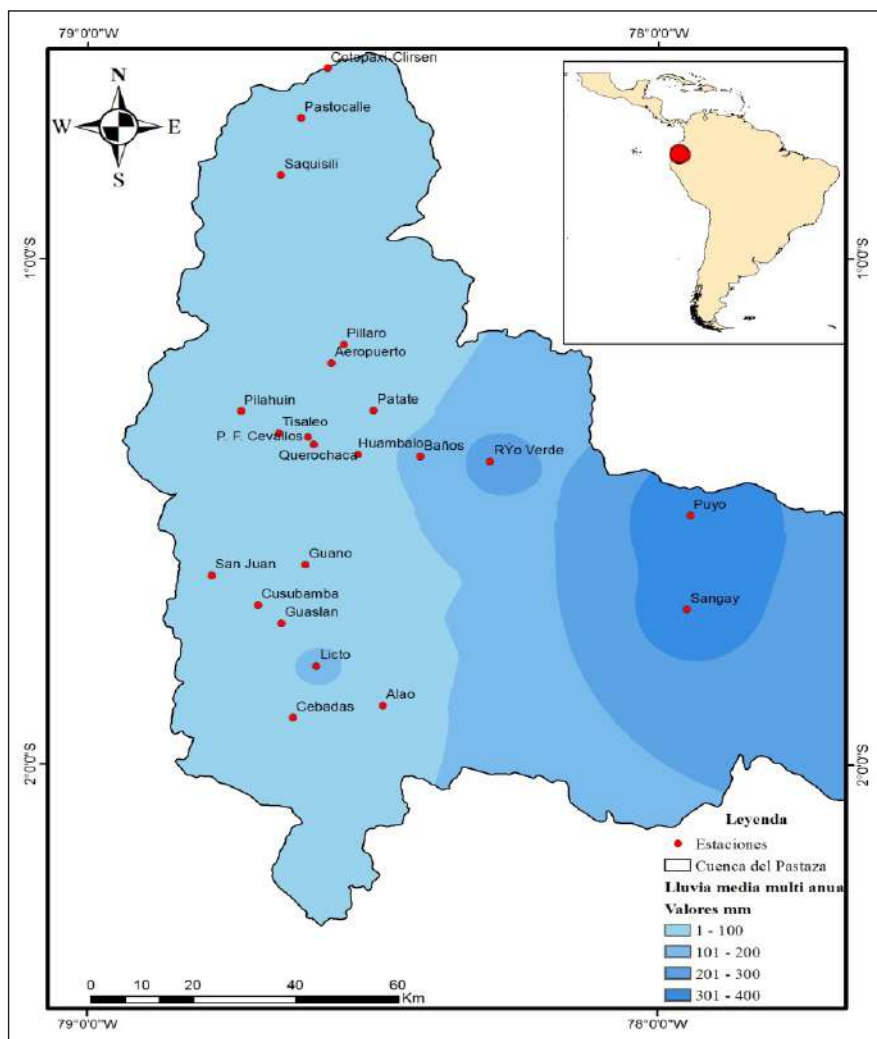


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Pastaza - Ecuador

El clima está influenciado por los regímenes climáticos occidental y oriental que prevalecen en el país. Las corrientes marinas cálidas de El Niño y frías de Humboldt, y el sistema de convergencia intertropical condicionan el clima del área. Esto permite distinguir tres zonas caracterizadas de la siguiente manera:

- Zona de páramo de la Cordillera oriental; tiene una pluviometría anual superior a 1.000 mm, con época lluviosa de abril a agosto.
- Flancos orientales de la Cordillera Occidental con precipitaciones que van desde 600 a 1.000 mm por año; esta zona tiene dos estaciones lluviosas en los períodos comprendidos de febrero a abril y de octubre a diciembre.
- Zona del Callejón Interandino, con precipitaciones anuales menores a 500 mm, con una estación lluviosa entre febrero y mayo.

Si bien la temperatura promedio es de alrededor de 14 grados centígrados, la gama de temperatura es amplia, desde los -4°C en las zonas altas, sobre 3.500 m.s.n.m, hasta los 20°C en las zonas más bajas de 700 m.s.n.m (PROMACH-GTZ, HCPT, 2004).

2.2. Diseño del estudio

Este estudio investiga la existencia de tendencias de precipitación a escala mensual y anual y su distribución espacial, sobre la región de la cuenca del río Pastaza en Ecuador, a través de diversas técnicas estadísticas y matemáticas (Quevedo, 2006), los test de Cramer, Helmer y t de Student para homogeneidad; coeficiente de Spearman utilizado para determinar la tendencia temporal y el modelo del inverso de la distancia, (*inverse distance weighting*) IDW, para la determinación de la distribución espacial, apoyado en técnicas geo-estadísticas. El estudio se realiza analizando las subcuencas del Río Cutuchi, Río Ambato, Río Chambo y Drenajes menores del río Pastaza.

2.3. Datos utilizados

Estudiar el comportamiento de la precipitación de manera temporal y espacial requiere de registros históricos de buena calidad de por lo menos 30 años (OMM 2011, Calahorrano et.al, 2016). En el presente estudio se utilizó series de precipitación diaria de veinte y tres estaciones meteorológicas ubicadas en la

cuenca del río Pastaza en Ecuador. Estas estaciones pertenecen en su mayoría al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), entidad encargada de suministrar la información relativa al tiempo, el clima y los recursos hídricos del país; la estación del aeropuerto de Ambato es propiedad de

la Dirección General de Aviación Civil del Ecuador (DGAC). El periodo de estudio es 1964 – 2011, sin embargo no todas las estaciones completan los 48 años de estudio, pero la mayoría supera los 30 años, excepto las estaciones del Aeropuerto y Querochaca que fueron instaladas posteriormente.(Tabla 1).

Tabla 1. Estaciones analizadas en la cuenca del río Pastaza - Ecuador

Nombre Estación	Código	Longitud	Latitud	Altura	Años de registro
Cotopaxi –Clirsén	M120	769195	9931041	3.510	1964 - 1993
Pastocalle	M371	764054	9920134	3.074	1979 - 2002
Saquisilí	M375	760057	9907660	2.892	1979 - 2011
Rumipamba	M004	767684	9887159	2.685	1977 - 2011
Pillaro	M127	772341	9870622	2.770	1964 - 2004
Aeropuerto	M066	769950	9866534	2.590	1987 - 2011
Tisaleo	M377	759673	9851212	3.250	1975 - 2011
P. F. Cevallos	M128	765394	9850377	2.910	1978 - 2011
Querochaca	M258	766444	9848747	2.865	1986 - 2011
Pilahuin	M376	752348	9856012	3.314	1965 - 2005
Patate	M126	778205	9856142	2.270	1964 - 1993
Huambaló	M380	775133	9846526	2.880	1976 - 2011
San Juan	M393	746622	9820099	3.220	1964 - 2004
Guano	M408	764838	9822413	2.620	1980 - 2011
Cusubamba	M369	755582	9813574	3.175	1964 - 2004
Guaslán	M133	760215	9809636	2.850	1964 - 2004
Licto	M407	767006	9800254	2.840	1976 - 2011
Cebadas	M395	762446	9788952	2.930	1965 - 2005
Alao	M396	779982	9791632	3.200	1964 - 2011
Baños	M029	787319	9846052	1.695	1964 - 2011
Río Verde	M378	800990	9844961	1.529	1965 - 2011
Puyo	M008	840113	9833136	960	1965 - 2011
Sangay	M041	839402	9812598	880	1964 - 2011

Los registros históricos de precipitación fueron sometidos a un análisis de homogeneidad para asegurar que las tendencias detectadas no sean causadas por un cambio en los tiempos de observación, o debido a la reubicación física del pluviómetro. La homogeneidad se observó mediante la aplicación de tres tipos de pruebas. La primera aplicando t de Student, para detectar inconsistencias debido a cambios abruptos en la media de precipitación (Rubio et.al, 2012, Puebla J 1995). En este caso, se divide la muestra total en dos partes con tamaños similares $n_1 \approx n_2 \approx n/2$, de tal forma que sus medias sean análogas. La serie es homogénea si el valor del estadístico calculado t_d resulta menor o igual al estadístico t_c de la distribución t de Student de dos colas y con $n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad.

$$t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

\bar{x}_1 , \bar{x}_2 , s_1^2 y s_2^2 y las medias y varianzas de las dos partes de la serie.

La segunda fue la prueba de Cramer, que compara el valor de \bar{x} del registro total con cada una de las medias de los bloques elegidos \bar{x}_{60} (60% de los últimos valores de la muestra) y \bar{x}_{30} (30% de los últimos valores de la muestra) (Cabaña et al, 2010). Para que se considere la serie analizada como estacionaria en la media, se deberá cumplir que no existe una diferencia significativa entre las medias de los bloques. Es una prueba complementaria de la t de Student, sobre todo cuando las muestras n_1 y

n_2 no son muy parecidas. El estadístico t_w tiene una distribución t de Student de dos colas con $n-2$ grados de libertad.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \tag{2}$$

$$S_x = \left[\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

$$\bar{x}_{60} = \sum_{k=1}^{n_{60}} \frac{x_k}{n_{60}} \tag{4}$$

$$\bar{x}_{30} = \sum_{k=1}^{n_{30}} \frac{x_k}{n_{30}} \tag{5}$$

$$\tau_{60} = \frac{\bar{x}_{60} - \bar{x}}{S_x} \tag{6}$$

$$\tau_{30} = \frac{\bar{x}_{30} - \bar{x}}{S_x} \tag{7}$$

$$t_w = \left\{ \frac{n_w(n-2)}{n-n_w[1+\tau_w^2]} \right\}^{\frac{1}{2}} |\tau_w| \quad w = 30, 60 \tag{8}$$

La tercera fue la prueba de Helmer, detecta si la serie es homogénea o no, debido a que no tiene persistencia o tendencia (Campos D. , 2015), consiste en analizar el signo de las desviaciones de cada evento de la serie respecto a su valor medio (Campos D, 1998), considerando que si una desviación de cierto signo es seguida por otra del mismo signo, se dice que ha ocurrido una secuencia (S), en caso contrario se dice que ha ocurrido un cambio (C). Si la diferencia entre el número de secuencias y cambios es menor o igual que un error probable.

$$|S - C| \leq \sqrt{n-1} \tag{9}$$

2.4. Análisis de la tendencia temporal

La tendencia y la variabilidad de una serie temporal pueden ser descritas adecuadamente a través de test no-paramétricos (Sneyers, 1992). En particular, en las series de observaciones meteorológicas, el carácter aleatorio puede ser considerado como suficiente razón para la aplicación de una prueba de tendencia (Shifteh et al, 2012). Dos test no paramétricos pueden ser usados para demostrar la posible existencia de tendencia: el primero basado en el Coeficiente de Sperman $r_{s,y}$ el segundo en el rango de correlación estadística t de Kendall (Sneyers, 1992). En este estudio, se aplicó el Coeficiente de Spearman r_s , desarrollado por Charles Spearman, que evalúa la relación entre dos variables y puede ser descrito mediante una función monótonica. Una relación monótonica es aquella en la pueden ocurrir los casos siguientes: a) el valor de una variable incrementa mientras lo hace el valor de la otra variable; o, b) el valor de una variable incrementa mientras la otra

variable decrece. Este coeficiente es una medida de asociación lineal que utiliza los rangos, números de orden, de cada grupo de sujetos y compara dichos rangos. De igual modo, existen dos métodos para calcular el coeficiente de correlación de los rangos: uno, señalado por Spearman y otro, por Kendall. El r de Spearman llamado también rho de Spearman es más fácil de calcular que el de Kendall (Moore, 2005). El Coeficiente de Spearman, es robusto a la presencia de outliers (es decir permite ciertos desvíos del patrón normal). La manifestación de una relación causa-efecto es posible sólo a través de la comprensión de la relación natural que existe entre las variables y no debe manifestarse sólo por la existencia de una fuerte correlación (Restrepo L, 2007). La fórmula de Spearman es la siguiente:

$$r_s = 1 - \frac{6}{n(n^2-1)} \sum (y_i - i)^2 \tag{10}$$

Donde n es el número de casos o valores y, $y_i - i$ es el rango de las variables.

Usando la hipótesis nula, la distribución de esta cantidad es asintóticamente normal con:

$$E(r_s) = 0 \quad \text{y} \quad \text{var } r_s = \frac{1}{n-1} \tag{11}$$

Para establecer la tendencia se planteó las siguientes hipótesis: La hipótesis nula H_0 , significa que no hay tendencia, mientras que la hipótesis alternativa H_1 , representa la existencia de tendencia. Se utilizó el estadístico reducido de Spearman $\mu(r_s)$, una vez que las series se suavizaron mediante la aplicación de la media móvil. Debido a que, $n \geq 30$ la prueba estadística se puede aproximar a una distribución normal, entonces $\mu(r_s)$ puede ser comparada con el Z_{crit} (Puebla Gutierrez, 1995), en un ensayo bilateral. Para este estudio el nivel de significancia es del 0.05. Para rechazar o aceptar la hipótesis nula, el estadístico reducido de Spearman $\mu(r_s)$ se calcula con la siguiente ecuación.

$$\mu(r_s) = r_s \sqrt{n-1} \tag{12}$$

Donde

$$\alpha_1 = P(|\mu| > |\mu(r_s)|) \tag{13}$$

La hipótesis nula es aceptada si, $\mu(r_s)_{cal} > \alpha_1$.

2.5 Análisis de la tendencia espacial

Un problema estadístico importante en las ciencias es la estimación de la distribución espacial de una región de estudio a partir de observaciones tomadas. Este problema, conocido como interpolación espacial, ha sido abordado con métodos geo-estadísticos que

incluyen kriging ordinario y universal, ponderación del inverso de la distancia, interpolación de polinomios, splines y series de Fourier, entre otros (Zimmerman, 1999). Para el análisis de la distribución espacial de la precipitación en la cuenca del Pastaza, se utilizó la técnica del Mallado Vectorial de Puntos en ArcGIS diseñada con distancias de 5 km entre puntos, con el propósito de calcular la distancia entre todos los puntos de la cuadrícula y con respecto a cada una de las estaciones.

Con los datos de los acumulados mensuales del periodo 1971 – 2001³, se aplicó el método del inverso de la distancia, (*inverse distance weighting* IDW) modelo matemático para estimar la precipitación en todos los puntos de malla a partir de los datos de precipitación de las estaciones de la zona de estudio. El modelo se basa en dar igual peso a todas las muestras, es decir, más peso a las muestras más cercanas y menos a aquellas que están más alejadas. Una manera de hacerlo es asignar el peso para cada muestra inversamente proporcional a su distancia desde el punto a ser estimada (Isaaks et al, 1989).

La fórmula general es:

$$\tilde{p} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^v} p_i}{\frac{1}{d^v}} \tag{14}$$

Dónde:

\tilde{p} = precipitación calculada

n = número de estaciones

p_i = precipitación de la estación i

d_i = distancia desde la estación i al punto donde se calcula la precipitación

v = 2

El exponente v, tiene un rango entre mayor de cero y menor de cinco. Los valores a escoger dependerán de las estimaciones que se requiera realizar. Valores cercanos a cero proporcionan pesos muy bajos a los puntos próximos a la estación, mientras que valores cercanos o iguales a cinco aportan pesos grandes a los puntos más próximos a la estación. La experiencia muestra que para obtener estimaciones adecuadas es recomendable utilizar un exponente igual a 2 (Burn, 2002).

Tabla 2. Pruebas de homogeneidad para la estaciones de la cuenca del Pastaza-Ecuador

ESTACIÓN	PRUEBA DE HOMOGENEIDAD						RESULTADO
	Prueba t de Student	Prueba de Cramer		t de Student $\alpha = 0.05$	Prueba de Helmert		
	t_d	t_{60}	t_{30}		S-C	$\sqrt{n_j - 1}$	
Cotopaxi - Clir	1,7060	2,2901	2,0338	2,05	7	5	HOMOGENEA
Pastocalle	1,4348	0,9045	1,1873	2,04	6	6	HOMOGENEA
Saquisili	-1,6410	1,9560	0,2086	2,04	7	6	HOMOGENEA
Rumipamba	-1,3787	1,2104	0,4854	2,04	2	6	HOMOGENEA
Pillaro	-1,3587	1,2104	0,4854	2,08	2	6	HOMOGENEA
Aeropuerto	-0,1089	1,1519	0,2170	2,07	2	5	HOMOGENEA
Tisaleo	-1,3609	0,8360	1,2498	2,04	12	6	HOMOGENEA
P. F. Cevallos	-1,7444	1,3379	1,4066	2,04	1	6	HOMOGENEA
Querochaca	-1,6260	1,4058	1,3295	2,07	9	5	HOMOGENEA
Pilahuin	-1,1191	0,6569	2,3014	2,02	12	7	HOMOGENEA
Patate	1,3693	1,1971	1,1817	2,04	1	5	HOMOGENEA
Huambalo	-0,0248	0,7482	0,1493	2,04	5	6	HOMOGENEA
San Juan	-0,6468	0,3868	0,1454	2,02	7	7	HOMOGENEA
Guano	0,1634	0,1057	0,2576	2,04	5	6	HOMOGENEA
Cusubamba	0,0079	0,1974	0,6080	2,02	5	7	HOMOGENEA
Guaslán	-0,1972	0,7558	1,1025	2,02	13	7	HOMOGENEA
Licto	0,5372	0,0911	2,7615	2,04	7	6	HOMOGENEA
Cebadas	1,0840	0,6231	0,1420	2,08	4	5	HOMOGENEA
Alao	0,7388	0,2181	0,5991	2,02	21	7	HOMOGENEA
Baños	0,5198	0,1645	0,1779	2,02	1	7	HOMOGENEA
Rio Verde	1,5435	0,0386	2,3157	2,04	6	6	HOMOGENEA
Puyo	-0,6858	0,4605	1,4038	2,02	1	6	HOMOGENEA
Sangay	1,0651	1,4147	0,6818	2,02	13	7	HOMOGENEA

³ El periodo internacional corresponde a 1961 – 1990. Al no disponer de estos datos se utilizó el periodo más cercano 1971 -2001.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis exploratorio de los datos

De la red de estaciones existentes en la cuenca del Pastaza que comprende más de treinta, únicamente se seleccionaron veinte y tres, con periodos de registro superior a 25 años y porcentaje de datos faltantes inferiores al 10% (OMM, 2011). Las series con menos de 30 años, pueden influir en la potencia de test no paramétricos (Burn, D et.al, 2002). Por lo tanto, el análisis primario del conjunto de datos 1964–2011, consistió en pruebas de homogeneidad para asegurar que las tendencias identificadas no correspondan a factores distintos de los climáticos. La prueba estadística *t* de Student y el test de

Cramer revelan la homogeneidad de todas las series, correspondientes a las veinte y tres estaciones, que se confirma con la prueba de Helmer, como prueba complementaria que se utilizó como decisoria en caso de que las otras pruebas arrojen resultados divergentes Tabla 2.

3.2. Tendencias anuales de precipitación

Los resultados de la aplicación de la prueba de Spearman r_s para las tendencias anuales de precipitación de 1964 -2011 muestran tendencias positivas y negativas y en otros casos no se presenta tendencia (Tabla 3).

Tabla 3. Tendencias temporales de la precipitación en la cuenca del Pastaza en Ecuador

Unidad Hidrográfica Patate				
Estación	$\mu (r_s)$	Signo	Tendencia	Período analizado
Cotopaxi-Clirsen	-3,96	-	Tendencia decreciente	30 años
Rumipamba	4,04	+	Tendencia creciente	35 años
Pastocalle	-3,60	-	Tendencia decreciente	39 años
Saquisilí	2,39	+	Tendencia creciente	33 años
Patate	0,30		Sin tendencia	30 años
Píllaro	-4,45	-	Tendencia decreciente	41 años
Huambaló	0,70		Sin tendencia	36 años
Aeropuerto	1,22		Sin tendencia	25 años
Querochaca	2,78	+	Tendencia creciente	26 años
P. F. Cevallos	3,26	+	Tendencia creciente	34 años
Tisaleo	4,02	+	Tendencia creciente	37 años
Pilahuin	1,00		Sin tendencia	41 años
Unidad Hidrográfica Pastaza				
Estación	$\mu (r_s)$	Signo	Tendencia	Período analizado
Puyo	4,74	+	Tendencia creciente	47 años
Sangay	-4,90	-	Tendencia decreciente	48 años
Río Verde	-2,36	-	Tendencia decreciente	47 años
Baños	0,05		Sin tendencia	48 años
Unidad Hidrográfica Chambo				
Estación	$\mu (r_s)$	Signo	Tendencia	Período analizado
Alao	-2,92	-	Tendencia decreciente	48 años
Licto	-1,36		Sin tendencia	36 años
Guano	-1,56		Sin tendencia	32 años
Cebadas	5,31	+	Tendencia creciente	41 años
Guaslán	1,13		Sin tendencia	41 años
Cusubamba	-0,70		Sin tendencia	41 años
San Juan	1,75		Sin tendencia	41 años

En este sentido, se tiene que, en la unidad hidrográfica Patate el 41,7% de las estaciones no presenta tendencia, el 33,3% tendencia al incremento y el 25% la tendencia es al decremento. En la unidad hidrográfica Pastaza, el comportamiento es muy diverso, el 50% de las estaciones presenta

tendencia decreciente, el 25% tendencia creciente y el otro 25% no muestra tendencia. Es necesario considerar que en esta unidad hidrográfica se tiene 4 estaciones, por lo que los resultados son apenas referenciales y no se podría estimar con mayor precisión la tendencia de la cuenca (OMM,

2011). En la unidad hidrográfica Chambo, el 71,4% de las estaciones no presenta tendencia; mientras que el 14,3% presenta tendencia creciente y el otro 14,3% tendencia decreciente. Si se analiza el

comportamiento a nivel de la cuenca del Pastaza, se tiene que el 43,5% no presenta tendencia, el 30,4% con tendencia creciente y el 26,1% con tendencia decreciente. Fig. 2.

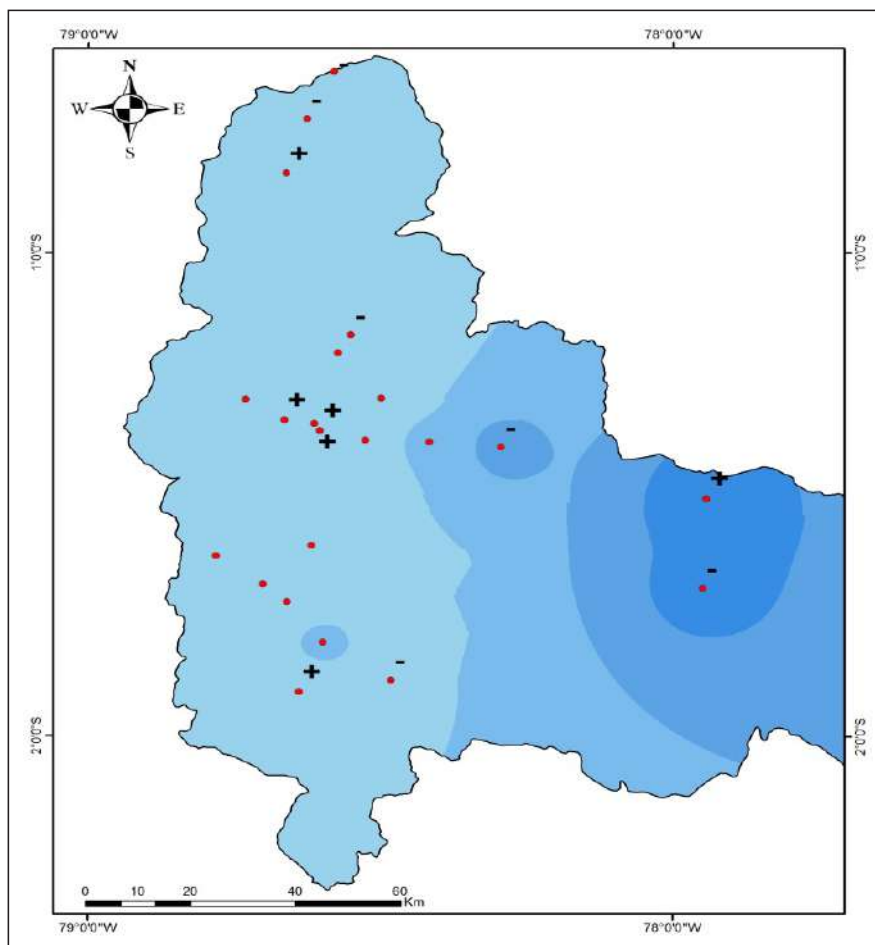


Figura 2. Tendencia temporal de la precipitación anual en la cuenca del Pastaza (1964-2011). Las tendencias son positivas (+), negativas (-) o sin tendencia

3.3 Distribución espacial de la tendencia mensual

La distribución espacial de las tendencias mensuales detectadas en las series de tiempo del periodo 1971-2001, de la cuenca del río Pastaza, generó 360 mapas correspondientes a los 30 años de estudio. En la Unidad hidrográfica Patate, conformada por las unidades hidrográficas Cutuchi y Ambato, se observa que la precipitación mensual no supera los 100 mm. El 82,5% del periodo de estudio presenta este comportamiento. Los porcentajes restantes en ambos casos, corresponden a precipitaciones entre 100 mm y 200 mm en todo el territorio de las cuencas de Cutuchi y Ambato. La distribución espacial se observa con tendencia a decrecer ligeramente de norte a sur a lo largo de la cuenca del Patate. En la zona norte de la cuenca del río Cutuchi puede observarse precipitaciones sobre los 100 mm mensuales en algunos meses. La cuenca del río Ambato es la más deficitaria revelando una distribución más uniforme, pero con precipitaciones mensuales menores,

incluso por debajo de los 100 mm en algunos meses y años. Como ejemplo, los mapas de marzo 1971 y enero 1974 corresponden a meses lluvioso y seco respectivamente en la cuenca del Cutuchi; mapas junio 1975 y octubre 1999 corresponden a meses lluvioso y seco respectivamente en la cuenca del río Ambato (Figura 3).

En la Unidad Hidrográfica Chambo, conformada por las unidades hidrográficas Guamote y Cebadas, la precipitación mensual en toda la cuenca, no supera los 100 mm. El 90% de los años de estudio presentan este comportamiento. La distribución espacial revela tendencia a decrecer de sur a norte a lo largo de la cuenca del río Chambo, presentando una mayor incidencia de precipitación en la zona sur de la cuenca, y en los meses de abril y mayo. Se muestran los mapas de abril 1984 y octubre 2000 que corresponden a meses lluvioso y seco respectivamente (Figura.4)

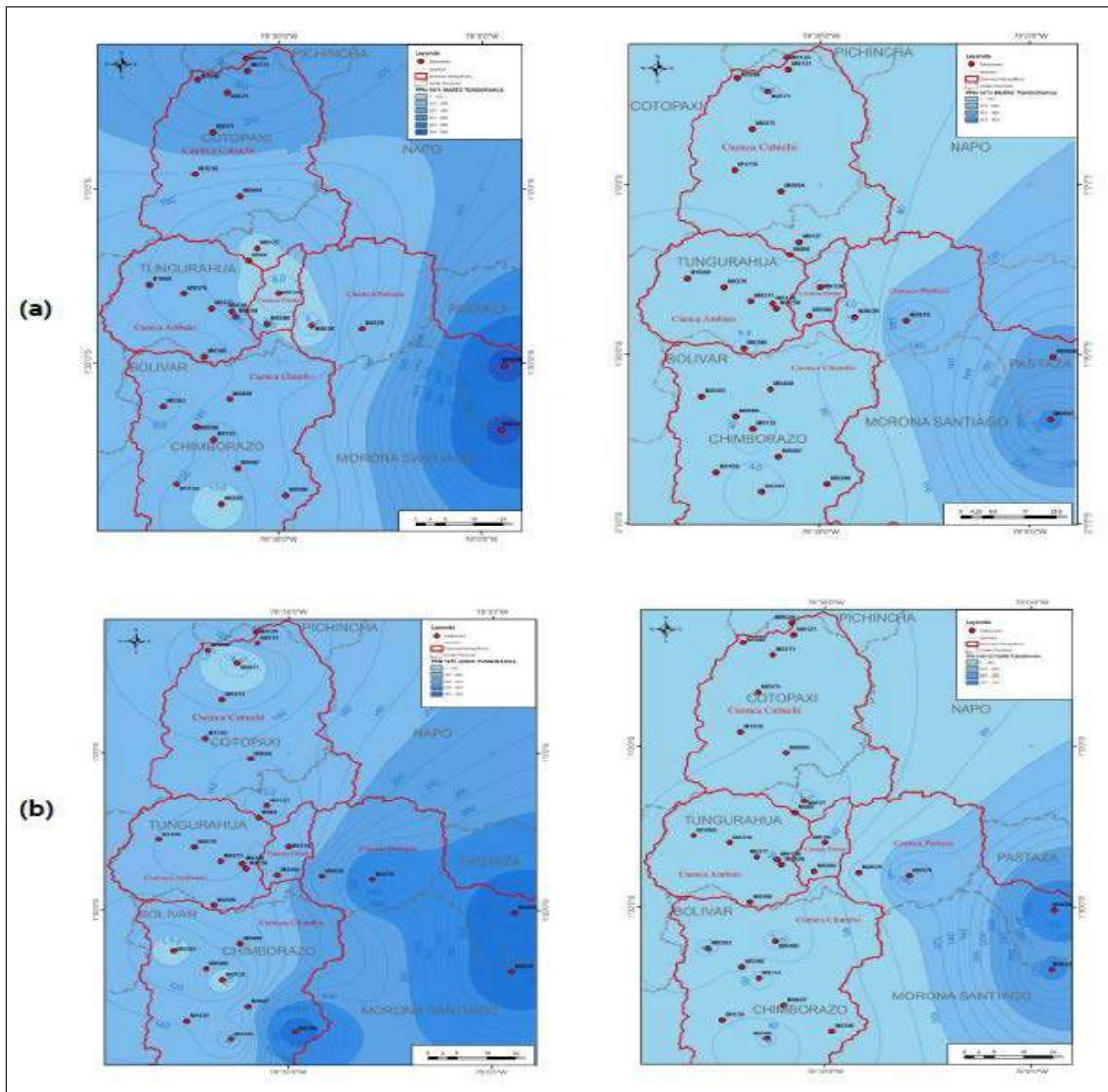


Figura 3. Tendencia espacial de la precipitación en la unidad hidrográfica Patate. (a) Cuenca del río Cutuchi; (b) Cuenca del río Ambato

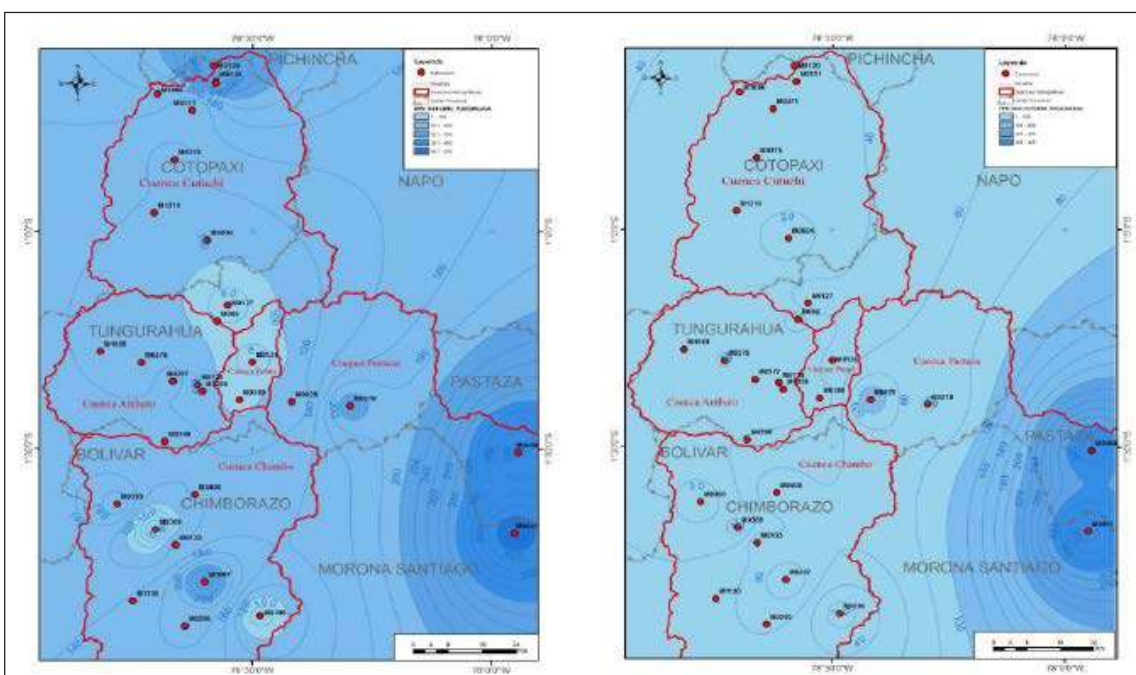


Figura 4. Tendencia espacial la de la precipitación en la unidad hidrográfica Chambo

En la Unidad hidrográfica Pastaza, conformada por los ríos Patate y Chambo, se observa elevada variabilidad. La distribución de las lluvias se incrementa de noroeste al sureste, así, en la zona occidental los valores se establecen entre 0 mm y 400 mm, mientras que en la zona oriental se tiene valores que van entre 400 mm a 1.000 mm, destacándose las zonas correspondientes a las estaciones de Río Verde, Puyo y Sangay. En forma

general la pluviosidad esta entre 100 mm y 500 mm mensuales. Los valores elevados de precipitación mensual en las zonas de las estaciones de Río Verde, Puyo y Sangay, se presentan en los años de 1982, 1983, 1986, 1989, 1990, 1991. Se muestran, a manera de ejemplo los mapas de julio 1972 y septiembre 1982 que corresponden a meses lluvioso y seco respectivamente (Figura.5)

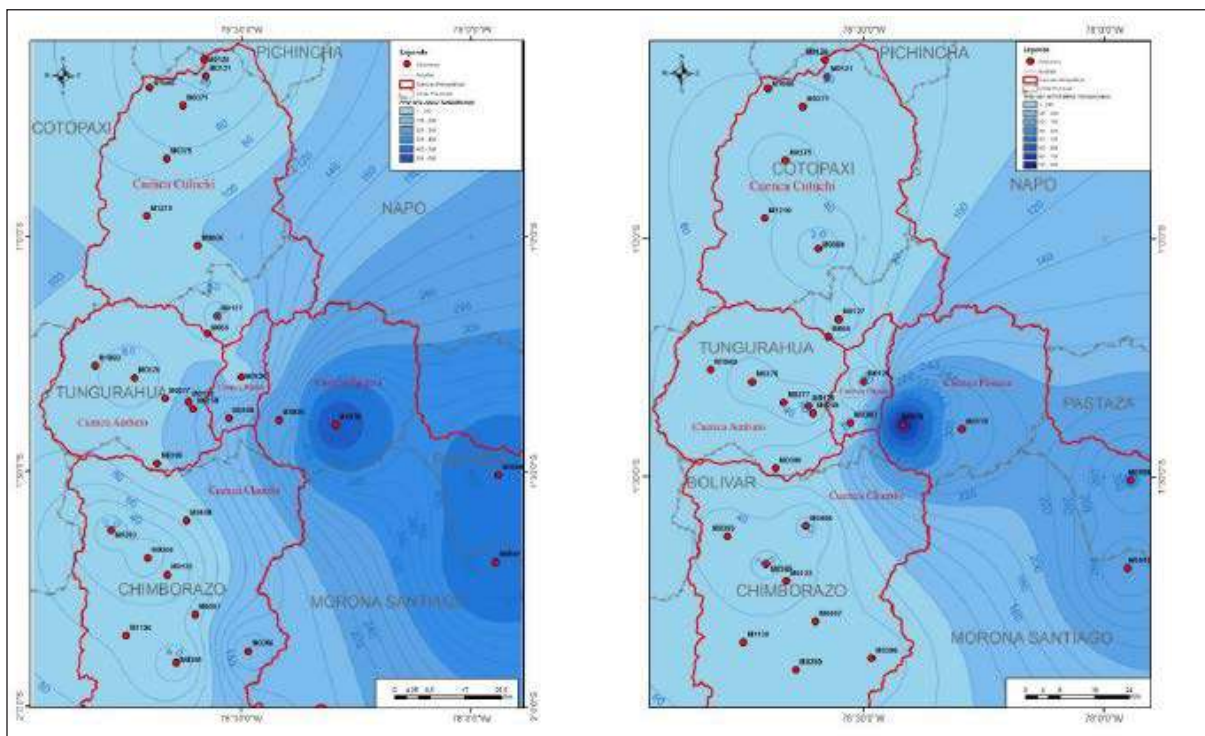


Figura 5. Tendencia espacial de la precipitación en la unidad hidrográfica drenajes menores del río Pastaza

CONCLUSIONES

En este estudio, el Coeficiente de Spermán r_s y el método del inverso de la distancia, (*inverse distance weighting* (IDW), fueron utilizados para estimar las tendencias espacio-temporales y la variabilidad de las series de veinte y tres estaciones pluviométricas. Las tendencias temporales se estimaron sobre el periodo 1964 – 2011, en tanto que la tendencia espacial fue estudiada para el periodo 1971 – 2001.

En el periodo de estudio las tendencias positivas se presentan en siete estaciones (30,4%); negativas en seis estaciones (26,1%); mientras que diez estaciones no presentan tendencia (43,5%). Las estaciones Río Verde y Sangay pese a ser las zonas más lluviosas de la cuenca presentan tendencia decreciente.

La distribución de las tendencias mensuales de precipitación es diversa en toda la cuenca. Las unidades hidrográficas Cutuchi, Ambato y Chambo que corresponde a la cuenca del río Patate, son las más deficitarias con precipitaciones entre 100 mm y 200 mm mensuales. Los meses más lluviosos son

abril y mayo. Los años más lluviosos del periodo 1971 -2001 son 1974, 1975,1999 y 2000.

La unidad hidrográfica drenajes menores del río Pastaza presenta lluvias que llegan hasta los 500 mm mensuales en las estaciones de Río Verde, Sangay y Baños. Los meses con mayor registro de precipitación son **abril, mayo y junio. Los años** de mayor pluviosidad son 1972 y 1982. La distribución de la precipitación en la cuenca aumenta de noroeste a sureste hacia la región amazónica, observándose que en la región montañosa de la sierra ecuatoriana las precipitaciones son menores.

Los resultados de la aplicación del coeficiente de Spearman sugieren que hay varias tendencias que se producen en la cuenca del Pastaza, pero es necesario estudiar la magnitud del incremento o decremento de la precipitación, y determinar si la región se enfrenta a las tendencias climáticas a largo plazo.

Los resultados encontrados proporcionan información importante que contribuye a la construcción de modelos regionales de cambio climático en zonas

montañosas donde la topografía es un factor que provoca variabilidad espacial y temporal de la precipitación; aportan a la gestión del riesgo a desastres, diseño de Sistemas de Alerta Temprana orientados a disminuir el impacto socioeconómico en las poblaciones vulnerables y afectadas por eventos negativos.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue financiado por la Universidad Nacional de Chimborazo. Agradecemos al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) por la facilitación de los datos. Nuestra gratitud a Luis Cabezas por su aporte en la elaboración de los mapas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Priyan, K. (2015) "Spatial and temporal variability of rainfall in Anand District of Gujarat State". *Aquatic procedia*, págs. 713-720. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.092>)

Taxak, A.R; Murumkar, A.R & Arya, D.S (2014). "Long term spatial and temporal rainfall trends and homogeneity analysis in Waiganga basin, Central India". *Weather and climate extremes*, Vol. 4, págs. 50-61. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2014.04.005>)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2016) [En línea] [Citado el: 2 de julio de 2016.] <http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/ipcc-glossary.pdf>.

Buffoni, L ; Maugeri, M., & Nanni, T. (1999). "Precipitation in Italy from 1983 to 1996". 1999, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 63, págs. 33-40. (DOI: 10.1007/s007040050089)

Jones, J.R; Schwartz, J.S., & Ellis, K.N. (2015). "Temporal variability of precipitation in the upper Tennessee Valley". *Journal of hydrology: Regional Studies*, Vol. 3. 125-138. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2014.10.006>)

García, F; Cruz, I.R. (2009). "Variabilidad de la precipitación pluvial en la región Pacífico Norte de México". *Agrociencia*, Vol. 43(1): págs. 1-9. (<http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v43n1/v43n1a1.pdf>)

Guenni, L; Degryze, E., & Alvarado, K. (2008). "Análisis de la tendencia y estacionalidad de la precipitación mensual en Venezuela" *Revista colombiana de estadística*. Vol. 31(1):41-65. (<http://www.emis.ams.org/journals/RCE/ingles/body/v31n1a03GuenniDegryzeAlvarado.p>)

Zhang, K; Pan, S; Cao, L; Wang, Y; Zhao, Y., & Zhang, W. (2014). "Spatial distribution and temporal trends in precipitation extremes over the Hengduan mountains region China from 1961 to 2012". *Quaternary International*. 1-11. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2014.04.050>)

Shifteh Some'e, B; Ezani, A; Tabari, H. (2012). "Spatiotemporal trends and change point of precipitation in Iran". *Atmospheric Research*. Vol. 1213: 1-12. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.04.016>)

Conservation International. (2005). *A Rapid Biological Assessment*. Washington. ISBN: 1-881173-77-1. (<http://biblioteca.cientifica.edu.pe/biblioteca/catalogo/ver.php?id=5414&idx=N002539>)

HGPT (2015). Mapa de la cuenca del Pastaza en Ecuador.

PROMACH-GTZ, HGPT. (2004). "Inventario Hídrico de Tungurahua". Ambato: HGPT.

Quevedo, H.A. (Eds). (2006). "Métodos Estadísticos para la Ingeniería Ambiental y la Ciencia". Biblioteca Virtual de la Universidad Autónoma de Juárez. México. DOI: <http://bivir.uacj.mx/LibrosElectronicosLibres/UACJ/ua00001.pdf>

WMO (2011). "Guía de prácticas climatológicas". OMM. No.100. ISBN 978-92-63- 30100-0. (as - [WMOwww.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf))

Rubio, M.J; Berlanga, V. (2012). "Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Studente y ANOVA en SPSS. *Revista d'Innovació y Recerca en Educació*. Vol 5(2): 83-100. (<http://dx.doi.org/10.1344/reire2012.5.2527>)

Puebla, J.G; Preciado, J. M; Rodríguez, V. R. (1995). "Técnicas cuantitativas:(estadística básica)". Oikos-tau. ISBN: 84-281-0857-9

Cabaña, A; Cabaña, M (2010). "La transformación de procesos en inferencia". *Jornadas académicas de la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración*. Barcelona. (http://www.iesta.edu.uy/wp-content/uploads/2014/05/TJA_2010_La-transformacion-de-procesos-en-Inferencia.pdf)

Campos. D.F. (2015). "Búsqueda de tendencias en la precipitación anual del estado de Zacatecas, México; en 30 registros con más de 50 años". *Ingeniería, Investigación y Tecnología*. Vol. XVI (3).355-368. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.riit.2015.05.008>)

Campos, A.D. (1998). "*Procesos del ciclo hidrológico*". UASLP. Mexico : UASP. ISBN- 968-6194-44-4. (nive.uaslp.mx/jspui/bitstream/i/3331/1/EDBPCH99801.pdf)

Sneyers, R. (1992). "On the statistical for the objective of determination climate change". s.l. : World Meteorological Organization.(WMO).

Sneyers, R. (1990). "On the statistical analysis of series of observations". s.l. : World Meteorological Organization. Technical Note N° 143. WMO-N° 415.

Moore, D. S. (2005). *Estadística aplicada básica*. Antoni Bosch editor. ISBN:84-95348-04-7.

- Restrepo, L.F; González, J. (2007). "De Pearson a Spearman". *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20: 83-192. (<https://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/rccp/article/view/324135/20781318>)
- Zimmerman, D; Pavlik, C; Ruggles, A; Armstrong, P. (1999). "An Experimental Comparison of Ordinary and Universal Kriging and Inverse Distance Weighting". *Mathematical Geology*, Vol. 31(4). (doi:10.1023/A:1007586507433)
- Isaaks, E.H; Srivastava, M.R. (Eds) (1990). "An Introduction to Applied Geostatistics". Oxford University Press, Inc
- Burn, D.H; Hag Elnur, M.A. (2002). "Detection of hidrologic trends and variability". *Journal of hydrology*, 2002, Vol. 255: 107-122. (DOI: 10.1016/S0022-1694(01)00514-5)
- Insaurralde, J.A; Campo, A.L. (2012). "La variabilidad temporal de las precipitaciones en el suroeste chaqueño, desde 1955 a 2009". IX Jornadas nacionales de Geografía Física Bahía Blanca. ISBN 978-987-1648-32-0: 73-82. (<https://redargentinadegeografiafisica.files.wordpress.com/2013/07/07-insaurralde-campo-variabilidad.pdf>).
- Calahorrano, J.; Manzano, M; Gualli, D; Silva, F; Audelo, M (2016). "Boxplots y Media Móvil: Métodos Sencillos de interpretación de series temporales de precipitación en la cuenca del río Pastaza". *Revista PERFILES*. 16(2).