



ARTÍCULO ORIGINAL

Descriptores de la precipitación de la cuenca del río cachi de Ayacucho

Precipitation descriptors of the cachi of Ayacucho river basin

• Alex Pereda ¹ • Julio Jiménez ² • Denlis Ramírez ³ • Ruth Tairo ⁴

¹ Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho-Huamanga, Perú.

Correo electrónico: alex.pereda@unsch.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4381-2095>

² Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho-Huamanga, Perú.

Correo electrónico: julio.jimenez@unsch.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3959-2934>

³ Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Perú.

Correo electrónico: dramirez@unamad.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9000-1768>

⁴ Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Perú.

Correo electrónico: rtairo@unamad.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9873-5715>

Recibido: 20 junio del 2024 / **Revisado:** 10 julio del 2024 / **Aprobado:** 28 julio del 2024 / **Publicado:** 29 de agosto del 2024

RESUMEN

El estudio, expone los descriptores de la precipitación observados en la cuenca del río Cachi, durante 1991 al 2008, por la naturaleza de su desarrollo, es cuantitativa descriptiva, no experimental, longitudinal, actuada sobre una serie cronológica de 3016 registros de la precipitación mensual en 22 estaciones hidrometeorológicas administradas por el Gobierno Regional de Ayacucho. Los datos fueron organizados en Excel y procesados en SPSS, luego se realizó el análisis de varianza, aplicando la estadística descriptiva y las comparaciones múltiples de Duncan, observándose que al menos uno de los promedios de la precipitación mensual es diferente de los otros. Los resultados revelaron que, de 1991 al 1999, la precipitación mensual promedio en la cuenca presentó pequeñas variaciones cíclicas que denota fluctuación de un nivel muy bajo a uno ligeramente alto, a excepción del año 1993 con una precipitación acentuada en un nivel alto. En los demás años del periodo, la precipitación muestra mayor variación con picos pronunciados ubicados en un nivel alto y muy alto; además, en los meses de verano la precipitación mensual media es la más alta del año, en los demás meses es muy baja, en especial en los meses de mayo a julio; asimismo, se determinó que la precipitación en la Cuenca Alta varía de 18.97 a 98.00 mm y en la Cuenca Media oscila de 43.92 a 97.90 mm. Con estas estimaciones no se cumple la relación inversa entre la precipitación y la altitud de estación.

Palabras claves: Cuenca, río, Cachi-Ayacucho, precipitación, segmentación.

ABSTRACT

The study exposes the rainfall descriptors observed in the Cachi river basin, during 1991 to 2008, due to the nature of its development, it is quantitative descriptive, not experimental, longitudinal, acted on a chronological series of 3016 records of monthly precipitation in 22 hydrometeorological stations managed by the Regional Government of Ayacucho. The data were organized in Excel and processed in SPSS, then the analysis of variance was performed, applying descriptive statistics and multiple comparisons of Duncan, observing that at least one of the averages of the monthly rainfall is different from the others. The results revealed that, from 1991 to 1999, the average monthly rainfall in the basin showed small cyclical variations that denotes fluctuation from a very low level to a slightly high level, except for the year 1993 with an accentuated precipitation at a high level. In the other years of the period, precipitation shows greater variation with pronounced peaks located at a high and very high level; in addition, in the summer months the average monthly rainfall is the highest of the year, in the other months it is very low, especially in the months of May to July; Likewise, it was determined that precipitation in the Upper Basin varies from 18.97

to 98.00 mm and in the Middle Basin it ranges from 43.92 to 97.90 mm. With these estimates, the inverse relationship between precipitation and station altitude is not met.

Keywords: Basin, river, Cachi-Ayacucho, precipitation, segmentation.

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento del comportamiento del ciclo hidrológico en Ayacucho es un componente del sistema climático importante para satisfacer las necesidades de agua dulce, destinadas a las distintas actividades de la población, por lo que, el Gobierno Regional de Ayacucho a través de sus operaciones hidrometeorológicas monitorea en forma permanente la dinámica de la cuenca del río Cachi y mide algunas variables del sistema climático, entre estas, registra en forma diaria la precipitación en 22 estaciones ubicadas a lo largo y ancho de la Región de Ayacucho, porque es una de las fuentes importantes para el balance hídrico del flujo de agua superficial que alimenta a la cuenca del río Cachi en tiempo de lluvia y nieve, por otro lado, la comprensión del comportamiento de la precipitación durante el año, es como el termómetro que permite establecer la proporcionalidad con el caudal del río Cachi que es alimentado por los ríos Apacheta, Choccoro y Chicllarazo. En este contexto, se valora el trabajo del Gobierno Regional de Ayacucho, que invierte sus recursos económicos y humanos para realizar el registro periódico de la precipitación en las estaciones hidrometeorológicas de Ayacucho, permitiendo contar con el insumo básico para realizar el estudio denominado ¿Cuáles son los descriptores de la precipitación de la cuenca del río Cachi durante el periodo de 1991 al 2008?, con el propósito de aportar información específica de tipo retrospectiva a los resultados de la investigación de Moncada et al., (2015), denominada “Precipitación en la cuenca Cachi-Ayacucho, mediante imágenes satelitales y datos de estaciones meteorológicas” realizada con data histórica del 2000 al 2015; en forma complementaria, es necesario rescatar del trabajo de Moncada et al., (2014) Moncada et al., (2014), la clasificación que hace de la cuenca del río Cachi según su altitud, aplicando el modelo de elevación digital, en la cual distingue: Cuenca alta con elevación de 3424 hasta 5136 m.s.n.m., Cuenca media con elevación de 1712 a 3424 m.s.n.m. y Cuenca baja, cuya elevación va hasta 1712 m.s.n.m.; el conocer los descriptores de la variación de la precipitación permite entender el comportamiento de otras variables del sistema climático de la región (Van Loon, 2015), como la variación de la temperatura del ambiente y del suelo, la evaporación del agua, la variación de la vegetación, entre otras variables, que son importantes para la agricultura, crianza de animales domésticos, piscicultura, entre otras

actividades que activan la economía de los productores y satisfacen las necesidades de los consumidores.

La importancia de conocer la variación del comportamiento de la precipitación de la cuenca del río Cachi a lo largo de los años, permite establecer, a través de los descriptores estadísticos, si durante el periodo de estudio de 1991 – 2008 los ciclos anuales, mensuales y en las mismas estaciones hidrometeorológicas, mantienen variaciones muy pequeñas y en otros meses acentuadas, además, que las estimaciones aportan información que ayudan a explicar el fenómeno del calentamiento global, que algunos académicos postulan que es el efecto de la actividad humana y otros afirman que es un ciclo natural que se presenta periódicamente, por tanto, la información producida en el estudio aporta, con un granito de arena, para formar un juicio que sirva para prever los embates de la naturaleza, como inundaciones, huaycos, fenómeno del niño o niña (Espinoza, 2011; Sobral, 2019; Mohammadi, 2020), entre otros que afectan a todo el país.

La contribución de Prado (2015), en su investigación titulada “Validación de caudales máximos a partir de la precipitación estimada por percepción remota” tuvo como material de estudio la cuenca del río Chacco de Ayacucho, sobre la que tomó datos de la precipitación máxima anual del periodo de 1998 al 2014, constituyendo una muestra de 73 registros, presentando como resultado el registro de la precipitación anual de algunas estaciones de su zona de estudio, validadas a través del Test de homogeneidad de Helmert usados por Cañahuaray, (2015) y Chúa, (2017) en sus estimaciones de precipitación, lo que permitió calcular la precipitación mensual e identificar el rango de la precipitación mínima y máxima de esta serie de datos. En este trabajo, específico para la estación de Huamanga, la precipitación anual tiene un rango de variación compatible con el presente estudio durante el periodo de 1992 al 2008 que oscila de 426 a 816.1 mm, en tanto que, su variación mensual promedio es desde 35.5 a 68 mm; análogamente, en la estación de Alpachaca, la precipitación anual varía de 669.2 a 1060.4 mm, en tanto que, la variación mensual oscila de 55.8 a 88.4 mm.; de igual forma, la estación de Chiara, presenta una variación anual de 509.2 a 734.9 mm y la variación mensual de 42.4 a 61.2 mm.; asimismo, en la estación de Tambillo el rango de variación de la

precipitación en anual es de 505.6 a 951.1 mm y la variación mensual de 42.1 a 79.3 mm. Esta información, permite contrastar la precipitación anual de la cuenca del río Chacco, (ubicada en Ayacucho a una altitud de 2500 a 4450 m.s.n.m.) con los datos de la cuenca del río Cachi durante el periodo 1991 al 2008 en los tramos correspondientes; además, en este proceso de desarrollo de indicadores del sistema climático de Ayacucho, se tiene, el aporte del estudio de Moncada et al. (2015), que determinó la precipitación media mensual del 2000-2015, usando el Modelo de Elevación Digital DEM y métodos de interpolación IDW método usado en otros estudios de clasificación espaciotemporales de las precipitaciones de Scheel et al. (2011), Adler et al. (2017), Sun et al. (2018) y Vaheddoost (2020); en el estudio de Moncada et al. (2015), se observa zonas como Cayramayo, Chaquiccocha, Choccoro y Sachabamba con alta intensidad y mayor volumen de precipitación que suelen comenzar en diciembre, siendo su precipitación máxima de 260 mm en el mes de marzo, en tanto que, las zonas de Huanta, Huamanga, Pucallama, Huaychao, Tambobamba

y Paracay registraron una precipitación de menor intensidad, siendo la mínima de 1 mm en los meses de junio y julio. Por otro lado, el Senamhi (2019), en el estudio “Caracterización espacio temporal de la sequía en los departamentos alto andinos del Perú (1981-2018)”, identificó como años secos a 1982, 1983, 1985, 1987, 1988, 1990, 1992, 2004, 2005 y 2016, catalogados con intensidades de moderada a extremadamente seco, en este rango de años, puntualiza que el año 1992 fue para el departamento de Ayacucho un año con sequía severa con presencia de corriente del Niño, estos eventos de sequía permiten, en el presente estudio, observar cómo fue el comportamiento de la precipitación de la cuenca del río Cachi en el año 1992, 2004 y 2005.

El estimar los descriptores de la precipitación de la cuenca del río Cachi, motiva también a realizar estudios posteriores de proyecciones y cálculo de indicadores de la precipitación teniendo como base la data de 1991-2008, para compararlas con el índice de precipitación para el 2000 - 2015 descrita en el estudio realizado por Moncada et al., (2015).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El objeto de estudio es la cuenca hidrográfica formada por el río Cachi alimentado por los afluentes del río Apacheta, Choccoro y Chicllirazo, que irriga a la región Ayacucho posibilitando las actividades agrícolas, ganaderas y económicas que sustentan parte de las necesidades de la población, teniendo como base este material de estudio, se aplicó el enfoque de investigación cuantitativa, de nivel descriptivo, por la naturaleza de la recolección de los datos es longitudinal y de diseño no experimental porque no hay control de variables. La fuente de datos fueron los que registró el Gobierno Regional de Ayacucho quien administra las 22 estaciones hidrometeorológicas sobre el cuenca, registrando datos del clima, en este contexto, se obtuvo un vector de datos de la precipitación de las 22 estaciones hidrometeorológicas que datan desde 1991 hasta el 2008, que se procesaron con el análisis de varianza de un solo factor para determinar si hay diferencia significativa entre la precipitación de las estaciones y mediante las comparaciones múltiples de Duncan identificar grupos con precipitación estables; estos indicadores estimados pueden ser comparados con el estudio de índice de precipitación para el

2000 - 2015 descrita en el estudio realizado por Moncada et al., (2015), en el que utilizó datos extraídos de imágenes satelitales MODIS y MODFLOW en la cuenca Cachi- Apacheta, también aplicada en otros estudios como Leng et al. (2019) y Mega et al. (2019).

Para el desarrollo y logro de los propósitos de la investigación, se ha gestionado una muestra de 3016 datos cronológicos de la precipitación registrada desde 1991 hasta 2008 en cada estación. Los datos se organizaron en una hoja de cálculo Excel y procesados en SPSS con los criterios de la estadística descriptiva y el Test de Duncan de comparaciones múltiples, lo que permitió comparar las medias de la precipitación de las estaciones después de haber rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias de la precipitación en el Test de Análisis de Varianza, la limitación que se observó en la serie de la precipitación, fue que contenía datos faltantes en algunos meses de las estaciones en estudio, pero se decidió trabajar con los datos originales, sin aplicar algún método de completamiento de datos, solo se verificó la calidad de registro de los datos en el Software de procesamiento.

3. RESULTADOS

La precipitación mensual media histórica en la cuenca del río Cachi entre los años 1991 al 2008, generalmente presenta variaciones suaves desde

1991 hasta 1999, excepto el año de 1993 que presenta un pico cuya precipitación mensual promedio es de 72.46 mm con una desviación de

± 6.55 mm que permite la construcción de un intervalo con un 95% de confianza cuyos límites varían de 59.46 a 85.45 mm, sobre un rango de la precipitación mensual media de 1.90 a 331.60 mm alcanzada en algún mes de año, análogamente, en los años del 2000 al 2008, se observa que la precipitación mensual media presenta variaciones pronunciadas formando ciclos recurrentes cada cuatro años, teniendo picos de 91.98 mm con una desviación estándar de ± 20.46 mm en el 2001 y de 97.40 mm con una desviación de ± 15.16 mm en el año 2004, asimismo, se tiene otro pico de 144.50 mm con desviación de ± 10.45 mm en el año 2008, a través de las desviaciones estándar se determina que la fluctuación de precipitación es estable alrededor de la media en los años 2001 y 2004, en tanto que, en el 2008 la precipitación es mayor que en los años del tramo en cuestión, pero por la magnitud de su desviación estándar, indica que la precipitación media mensual es estable y oscila en un intervalo de 95% de confianza desde 123.33 a 165.67 mm, por otro lado, se infiere que los picos de alta precipitación mensual promedio descritos, representan probablemente a los años con mayor caudal en el río Cachi; por consiguiente se establece que, en los años 2003, 2006 y 2007 presentan picos bajos con promedios de 59.89, 70.48 y 69.33 mm respectivamente, con desviaciones estándar

arriba o debajo de la precipitación mensual media de 4.47, 5.51 y 5.88 mm, que representa para la cuenca del río Cachi menor caudal de agua, (Ver tabla 1 y figura 2). En un contexto general, a lo largo del periodo de estudio, se infiere que la variación de la precipitación mensual media es menor en los años anteriores al 2000 y posterior a este la variación de la precipitación mensual media es mayor; también, se tiene que la media general de la precipitación mensual es de 71.01 mm con una desviación estándar de ± 2.46 mm cuyo intervalo al 95% de confianza oscila de 66.18 a 75.84 mm durante el periodo de 1991 al 2008, pero es necesario puntualizar que el número de registros anuales para la precipitación mensual media es menor hasta 1999 y para los demás años el número de registros es mayor en las estaciones hidrometeorológicas de la región Ayacucho, que de contarse con los registros de la precipitación durante los 365 días del año en todas las estaciones de registro de datos, mejoraría las estimaciones de la precipitación mensual media, además probablemente en parte de estos registros faltantes, se contabiliza los días donde no hubo presencia de precipitación en alguna de las estaciones hidrometeorológicas de la región Ayacucho, justificado el dato en blanco en la bitácora de registro de las variables climáticas. (Ver segunda columna de la Tabla 1).

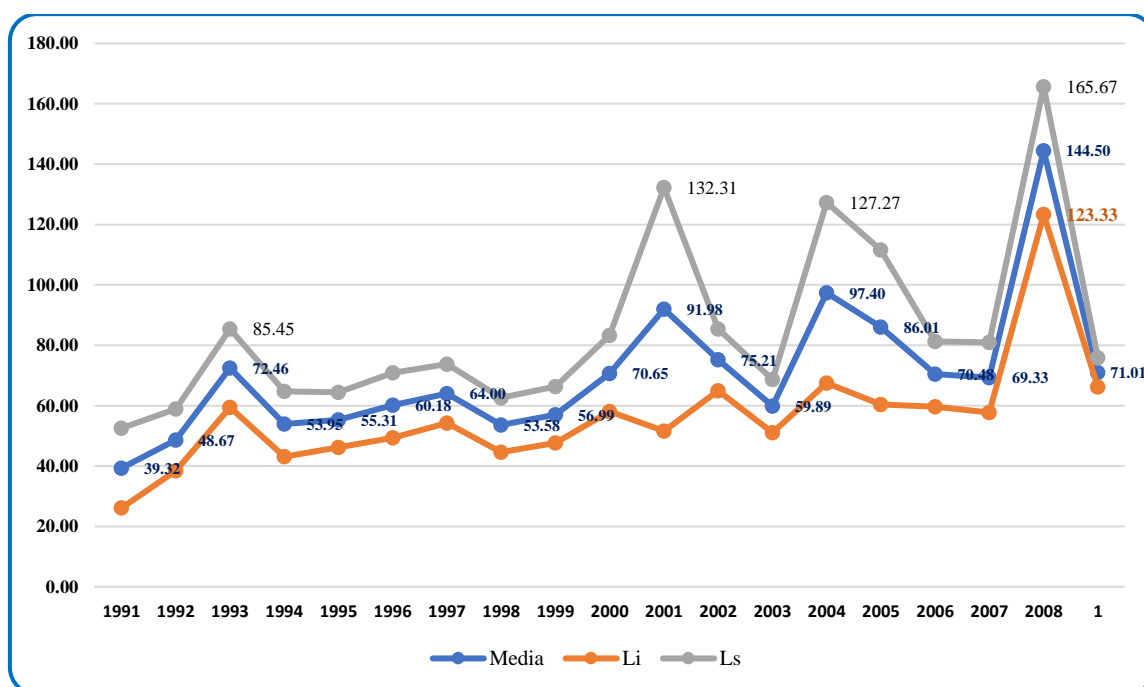
Tabla 1

Descriptores Estadísticos de la precipitación mensual media observada durante el periodo de 1991 al 2008

Año	N	Media	Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mín.	Máx.
					Límite inferior	Límite superior		
1991	38	39,32	40,20	6,52	26,11	52,53	,00	161,30
1992	94	48,67	49,96	5,15	38,44	58,91	,00	220,50
1993	107	72,46	67,79	6,55	59,46	85,45	1,90	331,60
1994	108	53,95	56,59	5,45	43,15	64,74	,00	278,00
1995	151	55,31	56,61	4,61	46,21	64,41	,00	248,60
1996	156	60,18	68,07	5,45	49,41	70,94	,00	317,90
1997	156	64,00	61,72	4,94	54,24	73,77	,00	275,90
1998	149	53,58	55,59	4,55	44,58	62,58	,00	250,70
1999	168	56,99	61,07	4,71	47,68	66,29	,00	237,25
2000	182	70,65	86,07	6,38	58,06	83,24	,50	554,50
2001	212	91,98	297,89	20,46	51,64	132,31	,00	4265,42
2002	226	75,21	77,96	5,19	64,99	85,43	,00	526,90
2003	221	59,89	66,48	4,47	51,08	68,70	,00	417,13
2004	236	97,40	232,94	15,16	67,53	127,27	2,80	2077,00
2005	252	86,01	206,16	12,99	60,43	111,59	,00	2064,00
2006	264	70,48	89,45	5,51	59,64	81,32	,00	946,00
2007	258	69,33	94,46	5,88	57,75	80,91	,00	705,00
2008	38	144,50	64,41	10,45	123,33	165,67	15,60	294,00
Total	3016	71,01	135,28	2,46	66,18	75,84	,00	4265,42

Figura 1

Secuencia de la precipitación mensual media observada a lo largo de los años de 1991 al 2008



A continuación, se detalla las comparaciones múltiples de Duncan, luego de conocer a través de análisis de varianza que existe diferencia estadísticamente significativa, con un 95% de confianza, que al menos un promedio de la precipitación mensual es diferente de los otros, es decir: $H_A: \mu_i \neq \mu_j, \forall i \neq j, i, j: 1, 2, 3, \dots, 12$, por lo que, es importante conocer si hay un conjunto de promedios afines que permita identificar a los años con menor y mayor precipitación mensual media; por consiguiente, a través de la metodología de Duncan se identifica cinco grupos homogéneos, cuya prueba de rangos múltiples, para el primer grupo considera los promedios que varían de 39.32 a 75.21 mm, que cataloga a los años con muy baja precipitación mensual media en forma ascendente en el siguiente orden: 1991, 1992, 1998, 1994, 1995, 1999, 2003, 1996, 1997, 2006, 2007, 2000, 1993 y 2002; análogamente, en el segundo grupo, la precipitación mensual media oscila de 48.67 a 86.01 mm, para los años de 1992, 1998, 1994, 1995, 1999, 2003, 1996, 1997, 2006, 2007, 2000, 1993, 2002 y 2005; para el tercer grupo, la media varía desde 53.58 a 91.98 mm, para los años: 1998, 1994, 1995, 1999, 2003, 1996, 1997, 2006, 2007, 2000, 1993, 2002, 2005 y 2001; asimismo, para el cuarto grupo, la media oscila de 56.99 a 97.40 mm, para los años: 1999, 2003, 1996, 1997, 2006, 2007, 2000, 1993, 2002, 2005, 2001 y 2004; en tanto que, el quinto

grupo tiene como precipitación mensual media de 144.50 mm para el año 2008. Estas comparaciones múltiples observadas en la Tabla 2 con el método de Duncan, no aporta mucha información para discriminar los años con muy baja o muy alta precipitación, pero si se inspecciona dicha tabla en forma horizontal y se asocia la información de la figura 3, se determina cinco grupos, el primer grupo, con una media de 39.32 mm para el año 1991, que se califica como un año con muy baja precipitación; el segundo grupo con una media de 48.67 mm para el año 1992, tipificado como un año con precipitación baja; en forma similar se tiene, el tercer grupo con una media que oscila de 53.58 a 55.31 mm, para los años organizados en forma ascendente: 1998, 1994 y 1995, caracterizados como años con una precipitación mensual moderada; asimismo, en el cuarto grupo identificado, la media varía de 56.99 a 97.40 mm, para los años: 1999, 2003, 1996, 1997, 2006, 2007, 2000, 1993, 2002, 2005, 2001 y 2004, en tanto que, para el quinto grupo, la media es de 144.50 mm para el año 2008. Ambas clasificaciones coinciden en el cuarto y quinto grupo, sin embargo, proporciona información cuantitativa y cualitativa de la variación de la precipitación mensual promedio, que permite tener una idea amplia del comportamiento de esta variable del ciclo hidrológico, que puede ser apreciada para entender el calentamiento global.

Tabla 2

Descriptor Estadísticos de las comparaciones múltiples de la precipitación media mensual observada durante el periodo de 1991 al 2008

Año	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		G1	G2	G3	G4	G5
1991	38	39,32				
1992	94	48,67	48,67			
1998	149	53,58	53,58	53,58		
1994	108	53,95	53,95	53,95		
1995	151	55,31	55,31	55,31		
1999	168	56,99	56,99	56,99	56,99	
2003	221	59,89	59,89	59,89	59,89	
1996	156	60,18	60,18	60,18	60,18	
1997	156	64,00	64,00	64,00	64,00	
2007	258	69,33	69,33	69,33	69,33	
2006	264	70,48	70,48	70,48	70,48	
2000	182	70,65	70,65	70,65	70,65	
1993	107	72,46	72,46	72,46	72,46	
2002	226	75,21	75,21	75,21	75,21	
2005	252		86,01	86,01	86,01	
2001	212			91,98	91,98	
2004	236				97,40	
2008	38					144,50
Sig.	,094	,080		,071	,053	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

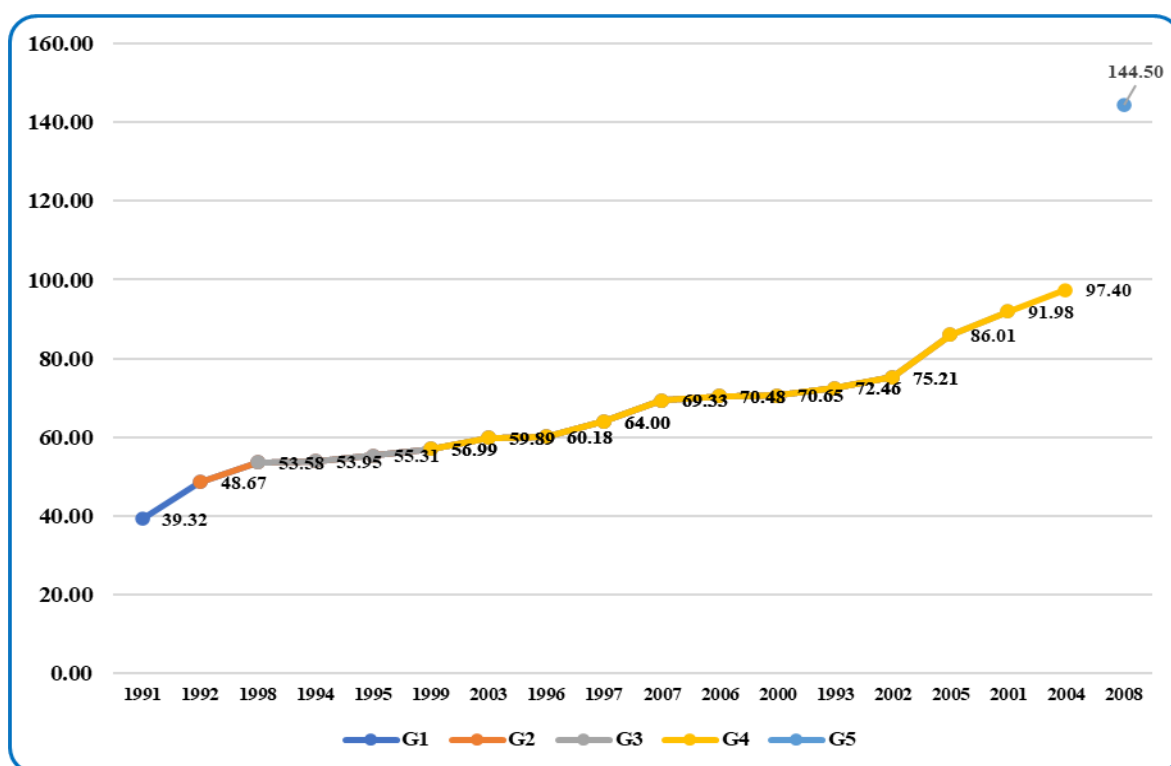
✓ Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 120,795.

✓ Los tamaños de grupo no son iguales.

Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo, los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Figura 2

Secuencia creciente de la precipitación mensual media observada a lo largo de los años de 1991 al 2008



Otro aspecto de la precipitación de la cuenca del río Cachi, es observarla en forma diaria durante un periodo mensual, pues en los meses de enero a marzo y en el mes de diciembre, son los meses en los que se tiene mayor precipitación diaria media que oscila de 139.98 a 152.40 mm, con

fluctuaciones suaves en el orden ± 6.30 , ± 9.09 , ± 10.40 y ± 20.55 , que indican que la precipitación diaria en estos meses es la más importante en la cuenca, porque se tiene en cuenta para la programación de cultivos, para las actividades de pastoreo y además reactiva el

ciclo hidrológico, en tanto que, en los meses de abril a noviembre la precipitación diaria promedio es menor que varía de 8.76 a 64.30 mm, con desviación estándar diaria mínima y máxima de ± 1.01 y ± 4.64 mm respectivamente, estos indicadores especifican que en estos meses de poca precipitación, los cultivos se programan en base a riegos, la crianza de animales se

proveen de las reservas de agua dulce de lagunas, puquios y brotes de aguas subterráneas. En general, la precipitación diaria media observada por mes es de 71.01 mm con una desviación estándar de ± 2.46 que da lugar a un intervalo de 95% de confianza que oscila de 66.18 a 75.84 mm, en un rango de 0.00 a 4265.42 mm, (Ver Tabla 3 y figura 3).

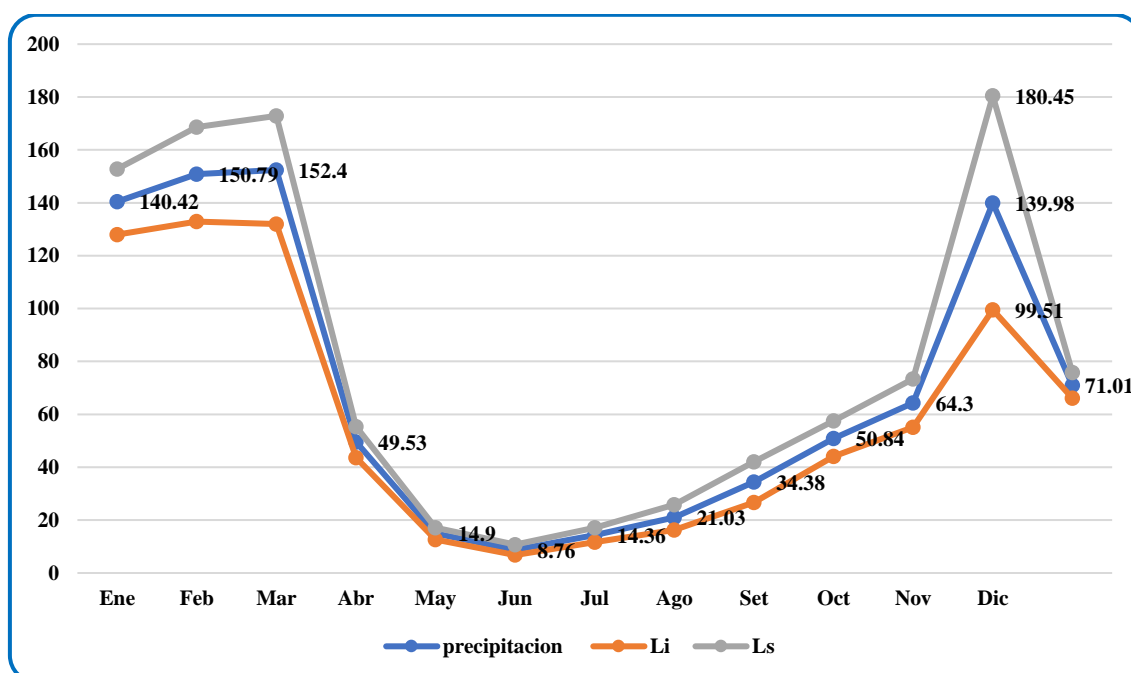
Tabla 3

Descriptores Estadísticos de la precipitación media observada mensualmente durante el periodo de 1991 al 2008

Mes	N	Media	Desviación	Desv . Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mín.	Máx.
					Límite inferior	Límite superior		
Enero	263	140,42	102,21	6,30	128,01	152,83	,00	893,00
Febrero	268	150,79	148,74	9,09	132,90	168,68	,00	1911,00
Marzo	247	152,40	163,45	10,40	131,92	172,89	,00	1749,00
Abril	246	49,53	46,72	2,98	43,67	55,40	,00	456,00
Mayo	248	14,90	18,12	1,15	12,63	17,16	,00	116,70
Junio	246	8,76	15,79	1,01	6,78	10,75	,00	164,00
Julio	249	14,36	21,94	1,39	11,62	17,09	,00	170,00
Agosto	250	21,03	38,48	2,43	16,24	25,83	,00	420,00
Setiembre	250	34,38	61,71	3,90	26,70	42,07	,00	690,00
Octubre	250	50,84	53,78	3,40	44,14	57,53	,30	550,00
Noviembre	249	64,30	73,15	4,64	55,17	73,43	,50	764,00
Diciembre	250	139,98	324,88	20,55	99,51	180,45	,00	4265,42
Total	3016	71,01	135,28	2,46	66,18	75,84	,00	4265,42

Figura 3

Secuencia de la precipitación media observada durante los meses de los años de 1991 al 2008



En el proceso de identificar grupos homogéneos en las comparaciones múltiples de Duncan, se tiene al primer grupo con una precipitación media que varía de 8.76 a 21.03 mm, para los meses ordenados en forma creciente: Junio, julio, mayo y agosto; el segundo grupo, presenta una media que oscila de 14.36 a 34.38 mm, para los meses de julio, mayo, agosto y setiembre; el tercer grupo, con media que varía de 34.38 a 50.84 mm, para los meses de setiembre, abril y octubre; análogamente se tiene, al cuarto grupo con una media que fluctúa de 49.53 a 64.30 mm, para los meses de abril, octubre y noviembre, en tanto que, el quinto grupo presenta una precipitación media que fluctúa de 139.98 a 152.40 mm, para los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, (Ver Tabla 4). En forma complementaria, al observar en forma horizontal la Tabla 4 y la figura 4, se identifica también

cinco grupos, el primero con precipitación media de 8.76 mm correspondiente al mes de junio, calificado como un mes con precipitación media muy baja; el segundo grupo con una media que oscila de 14.36 a 21.03 mm, para los meses de julio, mayo y agosto, calificados como meses de precipitación media de nivel bajo; el tercer grupo con media de 34.38 mm para el mes de setiembre, considerado como un mes de precipitación moderada; asimismo, se tiene el cuarto grupo, con una media que fluctúa de 49.53 a 64.30 mm, tipificados como meses con precipitación media de nivel alto, en tanto que, en el quinto grupo, se tiene una media que varía de 139.98 a 152.40 mm, para los meses de diciembre a marzo, calificados como meses de precipitación muy alta, que coincide con la estación de verano.

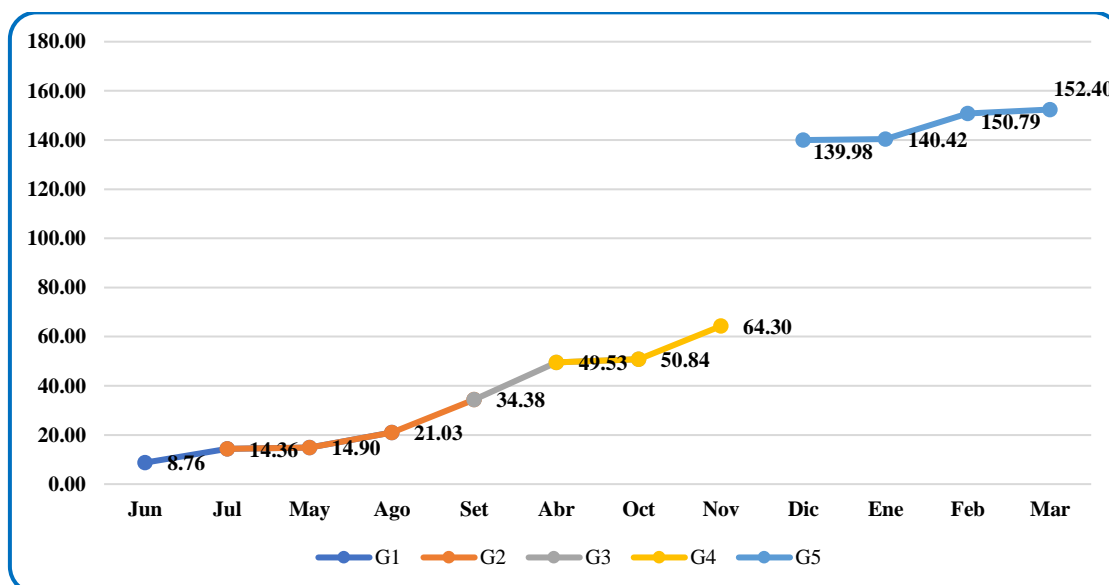
Tabla 4

Descriptores Estadísticos de las comparaciones múltiples de la precipitación media observada mensualmente durante el periodo de 1991 al 2008

Mes	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		G1	G2	G3	G4	G5
Junio	246	8.76				
Julio	249	14.36	14.36			
Mayo	248	14.90	14.90			
Agosto	250	21.03	21.03			
Setiembre	250		34.38	34.38		
Abril	246			49.53	49.53	
Octubre	250			50.84	50.84	
Noviembre	249				64.30	
Diciembre	250					139.98
Enero	263					140.42
Febrero	268					150.79
Marzo	247					152.40
Sig.		.316	.097	.159	.207	.310

Figura 4

Secuencia creciente de la precipitación media observada a lo largo de los meses de los años de 1991 al 2008



Siguiendo el proceso de presentar los detalles de la precipitación de la cuenca del río Cachi, en términos de las estaciones hidrometeorológicas y su altitud, se describe un rango de variación para la precipitación mensual media de 18.97 mm de Atunsulla con altitud de 3900 m.s.n.m. hasta 489.74 mm observada en Chillicruz con una altitud de 2620 m.s.n.m., la desviación estándar observada a nivel de las estaciones oscila de 0.87 a 78.67 mm, que indican que la precipitación en la mayoría de las estaciones son estables alrededor de la precipitación mensual promedio excepto en las estaciones de Cuchoquesera con ± 22.16 mm y Chillicruz con 78.67 mm;—Los indicadores expuestos revelan que la zona de Chillicruz es el lugar de mayor precipitación, mientras que Atunsulla es la zona de menor precipitación. A este nivel de la exposición de las

características de la precipitación media mensual, teniendo como referencia la altitud de la estación hidrometeorológica, no es suficiente para afirmar que la precipitación es inversamente proporcional a la altitud de la estación, pues el tamaño de la muestra es insuficiente, en Chillicruz solo se tiene 50 registros de la precipitación mensual, lo que restringe para determinar si la altura en la estación es un factor importante para la observación de mayor o menor precipitación, puesto que, en la estación de Huanta que tiene una altitud de 2620 m.s.n.m. tiene 206 registros, con una media de 44.61 mm y una desviación estándar de 2.71 mm, comportamiento muy diferente al visto en Chillicruz con igual altitud que Huanta, (Ver Tabla 5 y figura 5).

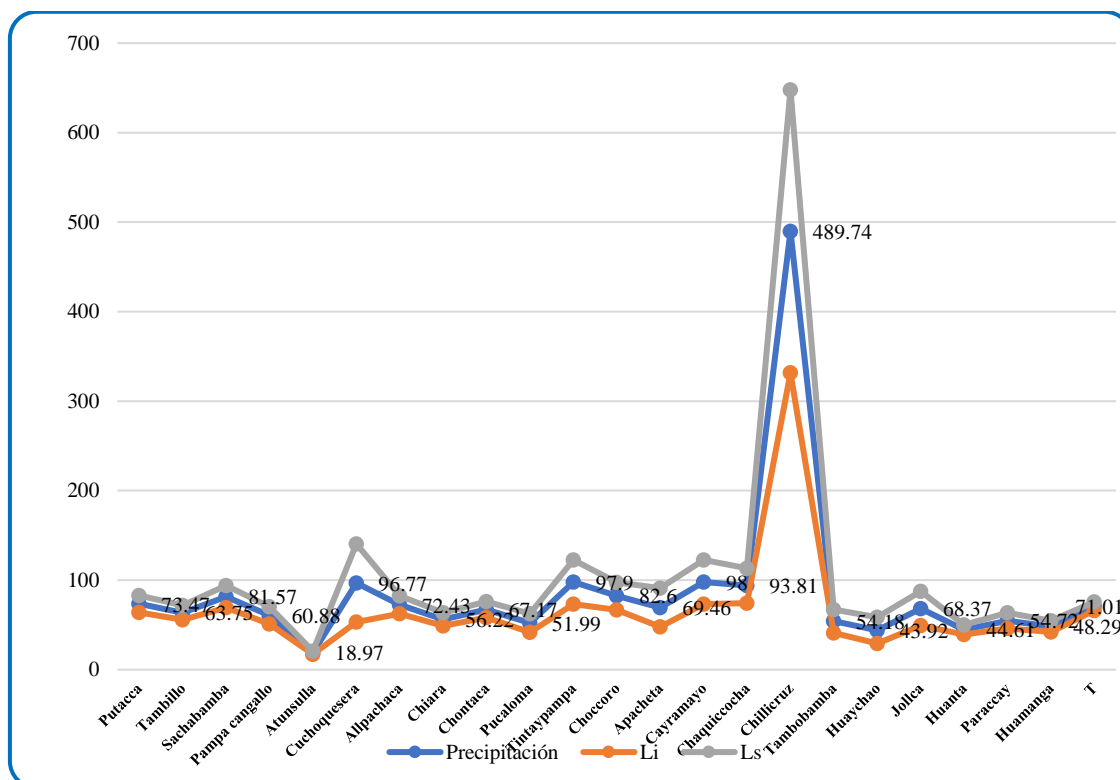
Tabla 5

Descriptores Estadísticos de la precipitación media observada mensualmente en el lugar geográfico de las estaciones hidrometeorológicas durante el periodo de 1991 al 2008

Estación	Altitud	N	Media	Desv. Desviación	Des v. Err or	95% del intervalo de confianza para la media		Mín.	Máx.
						Límite inferior	Límite superior		
Putacca	3550	205	73,47	68,97	4,82	63,97	82,97	,00	308,14
Tambillo	3250	194	63,75	57,41	4,12	55,62	71,88	,00	225,03
Sachabamba	3540	158	81,57	78,85	6,27	69,18	93,96	,00	334,33
Pampa cangallo	3350	156	60,88	60,96	4,88	51,24	70,52	,00	243,10
Atunsulla	3900	194	18,97	12,07	,87	17,26	20,68	,00	50,10
Cuchoquesera	3750	194	96,77	308,68	22,16	53,06	140,48	,00	4265,42
Allpachaca	3550	194	72,43	70,19	5,04	62,50	82,37	,00	406,60
Chiara	3400	181	56,22	50,63	3,76	48,79	63,64	,00	186,89
Chontaca	3525	195	67,17	64,31	4,61	58,08	76,25	,00	295,01
Pucaloma	3525	121	51,99	56,39	5,13	41,84	62,14	,00	231,60
Tintaypampa	2900	86	97,90	114,86	12,39	73,27	122,52	,60	554,50
Choccoro	4025	92	82,26	74,11	7,73	66,91	97,61	,00	324,22
Apacheta	4150	32	69,46	59,65	10,55	47,95	90,97	2,00	224,70
Cayramayo	3585	82	98,00	111,91	12,36	73,41	122,58	,00	593,60
Chaquiccocha	4114	83	93,81	89,20	9,79	74,33	113,29	,00	371,50
Chillicruz	2620	50	489,74	556,30	78,67	331,65	647,84	,00	2077,00
Tambobamba	3050	85	54,18	60,44	6,56	41,15	67,22	,00	362,00
Huaychao	3225	110	43,92	77,87	7,42	29,20	58,63	,00	418,43
Ccolca	3446	50	68,37	67,06	9,48	49,31	87,43	,00	219,00
Huanta	2620	206	44,61	38,94	2,71	39,26	49,96	,00	150,00
Paraccay	2900	142	54,72	53,13	4,46	45,91	63,54	,00	262,00
Huamanga	2772	206	48,29	45,39	3,16	42,05	54,52	,00	176,00
Total		3016	71,01	135,28	2,46	66,18	75,84	,00	4265,42

Figura 5

Secuencia de la precipitación media observada mensualmente en las estaciones hidrometeorológicas de la cuenca del río Cachi de los años de 1991 al 2008



Las comparaciones múltiples de Duncan, teniendo como referencia la precipitación de las estaciones hidrometeorológicas y su altitud, forma cinco grupos homogéneos en función de los rangos asignados, el primer grupo, presenta una precipitación mensual media que oscila de 18.97 a 56.22 mm, para las estaciones ordenadas en forma ascendente: Atunsulla (3900), Huaychao (3225), Huanta (2620), Huamanga (2772), Pucaloma (3525), Tambobamba (3050), Paraccay (2900) y Chiara (3400 m.s.n.m.); asimismo, se tiene al segundo grupo, con un rango que oscila de 43.92 a 82.26 mm, que comprende las estaciones de: Huaychao (3225), Huanta (2620), Huamanga (2772), Pucaloma (3525), Tambobamba (3050), Paraccay (2900), Chiara (3400), Pampa cangallo (3350), Tambillo (3250), Chontaca (3525), Ccollca (3446), Alpachaca (3550), Putacca (3550), SACHABAMBA (3540) y Choccoro (4025 m.s.n.m); análogamente, se tiene al tercer grupo, cuya precipitación mensual media varía de 54.18 a 93.81 mm, que comprende las estaciones citadas para el segundo grupo, más la estación de Chuquiccocha (4114 m.s.n.m); el cuarto grupo, presenta una variación de 60.88 a 98.00 mm, para las estaciones de: Pampa cangallo (3350), Tambillo (3250), Chontaca (3525), Ccollca (3446), Alpachaca (3550), Putacca (3550), SACHABAMBA (3540) y Choccoro (4025 m.s.n.m), catalogadas como estaciones con precipitación moderada; asimismo, se tiene al quinto grupo, con variación de la precipitación de 93.81 a 98.00 mm, para las

m.s.n.m), en tanto que, el quinto grupo tiene una precipitación mensual media de 489.74 mm para la estación de Chillicruz (2620 m.s.n.m), (Ver Tabla 6 y figura 7). Esta clasificación de la precipitación mensual promedio, descrita mediante el método de Duncan, no es tan eficiente, pero si realizamos una inspección horizontal a través de los peldaños observados de derecha a izquierda, se identifican seis grupos con magnitud de precipitación afín; el primer grupo, con precipitación de 18.97 mm en la estación de Atunsulla (3900 m.s.n.m), que podría considerarse muy baja precipitación mensual promedio; correlativamente, se tiene el segundo grupo, cuya variación oscila de 43.92 a 51.99 mm, para las estaciones ordenadas en forma ascendente, de: Huaychao (3225), Huanta (2620), Huamanga (2772) y Pucaloma (3525 m.s.n.m), tipificadas como lugares con precipitación baja; el tercer grupo, con precipitación que varía de 54.18 a 56.22 mm, para las estaciones: Tambobamba (3050), Paraccay (2900) y Chiara (3400 m.s.n.m); el cuarto grupo identificado con precipitación que oscila de 60.88 a 82.26 mm, para las estaciones de: Pampa cangallo (3350), Tambillo (3250), Chontaca (3525), Ccollca (3446), Alpachaca (3550), Putacca (3550), SACHABAMBA (3540) y Choccoro (4025 m.s.n.m), catalogadas como estaciones con precipitación moderada; asimismo, se tiene al quinto grupo, con variación de la precipitación de 93.81 a 98.00 mm, para las

estaciones de: Chaquiccocha (4114), Cuchoquesera (3750), Tintaypampa (2900) y Cayramayo (3585 m.s.n.m), tipificadas como estaciones con precipitación muy alta, en tanto que, el sexto grupo identificado, tiene precipitación mensual media de 489.74 mm, para

la estación de Chillicruz (2620 m.s.n.m), dicha precipitación es excesivamente alta para una de las estaciones hidrometeorológicas más bajas, probablemente Chillicruz sea un valle muy fértil para agricultura.

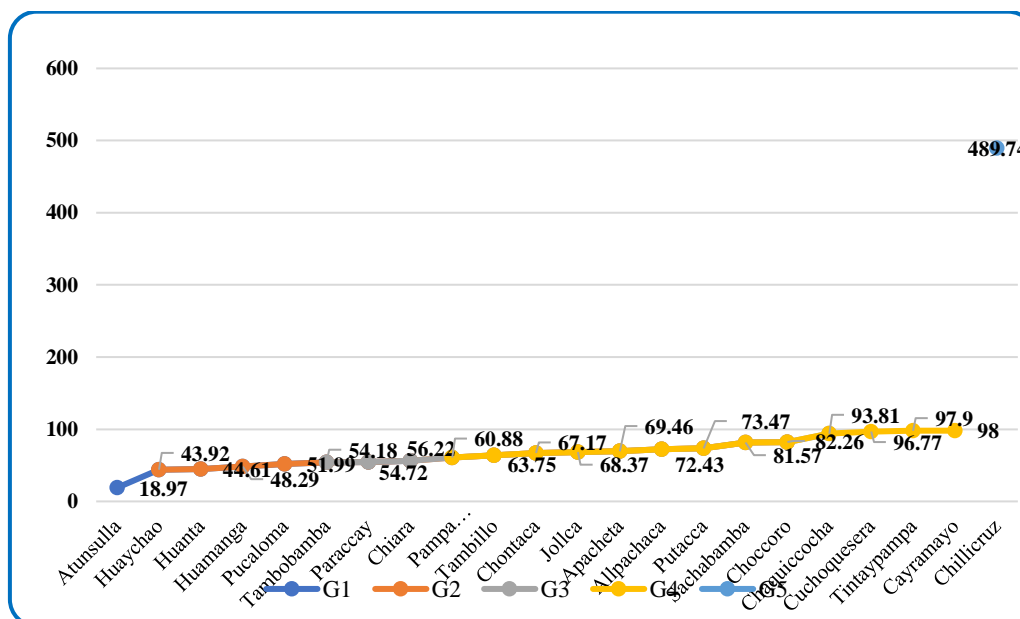
Tabla 6

Descriptores Estadísticos de las comparaciones múltiples de la precipitación media observada mensualmente en las estaciones hidrometeorológicas durante el periodo de 1991 al 2008

Distrito	Altura m.s.n.m	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
			G1	G2	G3	G4	G5
Atunsulla	3900	194	18,97				
Huaychao	3225	110	43,92	43,92			
Huanta	2620	206	44,61	44,61			
Huamanga	2772	206	48,29	48,29			
Pucaloma	3525	121	51,99	51,99			
Tambobamba	3050	85	54,18	54,18	54,18		
Paraccay	2900	142	54,72	54,72	54,72		
Chiara	3400	181	56,22	56,22	56,22		
Pampa cangallo	3350	156		60,88	60,88	60,88	
Tambillo	3250	194		63,75	63,75	63,75	
Chontaca	3525	195		67,17	67,17	67,17	
Ccollca	3446	50		68,37	68,37	68,37	
Apacheta	4150	32		69,46	69,46	69,46	
Allpachaca	3550	194		72,43	72,43	72,43	
Putacca	3550	205		73,47	73,47	73,47	
Sachabamba	3540	158		81,57	81,57	81,57	
Choccoro	4025	92		82,26	82,26	82,26	
Chaquiccocha	4114	83			93,81	93,81	
Cuchoquesera	3750	194				96,77	
Tintaypampa	2900	86				97,90	
Cayramayo	3585	82				98,00	
Chillicruz	2620	50					489,74
Sig.				,062	,056	,075	1,000

Figura 6

Secuencia creciente de la precipitación media observada mensualmente en las estaciones hidrometeorológicas durante el periodo de 1991 al 2008



La exposición de los descriptores estadísticos de la precipitación mensual promedio de la cuenca del río Cachi, permite hacer una valoración de los resultados anuales, determinando que en algunos años se tiene registros de precipitación muy alta, alcanzando picos en el año 2001 de 4265.42 mm en algún día de dicho año, luego en los años 2004 y 2005 con precipitación de 2077 y 2064 mm, pero calificado el 2004 y 2005 según monitoreo del Senamhi como años secos y con eventos de presencia de fenómeno del niño, sin efectos negativos en el 2004 y con inundación a finales del 2005, además, en el año 1992 se catalogó como año seco con presencia del fenómeno del niño en otros lugares del Perú (Senamhi, 2019, pág. 25), en los demás años del periodo de estudio, la precipitación mensual, observada a través del promedio se encuentra dentro los límites normales tolerables, puesto que la desviación estándar en forma general es menor a 11 mm, a excepción de los años de muy alta precipitación cuya desviación supera los 11 mm hasta 21 mm aproximadamente, asimismo, el rango de variación de la precipitación mensual promedio de la cuenca del río Cachi oscila de 48.7 a 114.5 mm, en tanto que, la precipitación mensual estimada de la cuenca del río Chacco tiene un rango de 35.5 a 88.4 mm, que comprende a la estación de Huamanga, Allpachaca, Chiara y Tambillo (Prado, 2015), pues la intersección de estos rangos oscila de 48.7 a 88.4 mm, que sirve como referente para comparar el comportamiento de la precipitación de la cuenca del río Cachi desde el año 1991 a 1999, cuyo rango de variación es desde 48.67 a 72.46 mm, ya que, se precisa el límite inferior y superior de la precipitación mensual durante esos años, lo cual está dentro del rango de intersección, considerando convergencia en el límite inferior de los intervalos, $<48.67, 72.46 \text{ mm}> \subset <48.7, 88.4 \text{ mm}>$, estos resultados permiten inferir que el comportamiento de la precipitación de la cuenca del río Cachi, durante el periodo de 1991 al 1999 está dentro de la precipitación habitual para la zona geográfica, pues la cuenca del río Cachi tiene una altitud de 2620 a 4150 m.s.n.m., en tanto que, la cuenca del río Chacco se ubica a una altitud de 2500 a 4450 m.s.n.m. que se puede calificar como métricas de altitud afines.

Siguiendo el progreso de la idea, se tiene la variación de la precipitación mensual promedio de la cuenca del río Cachi para el periodo del 2000 al 2008, cuyo rango de la precipitación oscila de 59.89 a 144.50 mm, pero si consideramos el 144.5 como una precipitación atípica, el rango recortado varía de 59.89 a 97.40 mm, que cotejado con el intervalo $<48.7, 88.4 \text{ mm}>$, se observa que hay un ligero incremento de la precipitación mensual promedio en la cuenca del río Cachi, debido al desplazamiento del intervalo, pues el rango del intervalo de

interés es de 37.51 mm y del rango considerado como base es de 23.79 mm, además, considerando las comparaciones múltiples de la precipitación mensual media con el método de Duncan, el rango recortado que varía de 59.89 a 97.40 mm estaría tipificado como precipitación mensual media alta; cabe resaltar que en este periodo de años, se tuvo en el 2004 y 2005 la presencia del fenómeno del niño.

Los descriptores estadísticos desde la precipitación diaria promedio observada mensualmente durante el periodo de estudio, es muy alta para la estación de verano, cuya precipitación diaria media varía de 139.98 a 152.40 mm, en tanto que, para las demás estaciones del año, la precipitación diaria media oscila en un rango de 8.76 a 64.30 mm, con desviación estándar para el recorrido, inferior a 5 mm aproximadamente, siendo las más bajas para los meses de mayo, junio y julio, luego crece en forma suave hasta 64.30 mm, en el mes de noviembre, se podría interpretar dicho comportamiento, como que la precipitación diaria promedio varía de un nivel muy bajo a un nivel alto, a lo largo de los meses observados.

Ahora bien, describiendo la precipitación media, teniendo como referencia las estaciones hidrometeorológicas y la clasificación de la cuenca del río Cachi propuesta por Moncada et al., (2014), para la secuencia de datos en cuestión, se identifica según su altitud, la Cuenca Alta (3446 a 4150 m.s.n.m.) cuya precipitación mensual promedio varía en un rango de 18.97 a 98.00 mm, que comprende la estación de: Ccollca, Chontaca, Pucaloma, Sachabamba, Putacca, Allpachaca, Cayramayo, Cuchoquesera, Atunsulla, Choccoro, Chaquiccocha y Apacheta, en tanto que, la Cuenca Media (2620 a 3400 m.s.n.m.), cuya precipitación oscila en un rango de variación de 43.92 a 489.92 mm, que comprende las estaciones de: Chillicruz, Huanta, Huamanga, Tintaypampa, Paraccay, Tambobamba, Huaychao, Tambillo, Pampa cangallo y Chiara, pero si consideramos una precipitación atípica, la correspondiente a Chillicruz (489.74 mm), el rango de variación recortado para la Cuenca Media sería de 43.92 a 97.90 mm de precipitación media observada por estación; Con la información expuesta, se deja de lado, el razonamiento que “A mayor altitud de la estación hidrometeorológica, menor precipitación media mensual; en tanto que, A menor altitud de la estación hidrometeorológica, mayor precipitación media mensual” que contradice a lo que afirma (Noy Meir 1973, Bell 1981, citado en Jobbágy et al., 1995) que afirma que la precipitación en la Cordillera es mayor y su variabilidad es menor.

En la valoración de los resultados, se determina que aportan información para descartar que exista relación inversa entre la precipitación y la

altitud de la estación hidrometeorológica, que es contrario al encontrado por Viale y Núñez (2011), no obstante, en el estudio de Matovelle (2021) encuentra una correlación inversa muy débil entre la precipitación y la altitud de la cuenca del Pacífico; dichos estudios inducen a que hay una relación inversa entre la precipitación y la altitud en la cresta de los Andes, por otro lado, estos resultados asociados a los resultados de los autores mencionados, probablemente aperturan la curiosidad e inquietud de los investigadores de las variables climáticas, para que aporten información que permita conocer algo más de la precipitación de la cuenca del río Cachi. Asimismo, los indicadores estadísticos para los años de 1992, 2004 y 2005, en los que hubo presencia de fenómeno del niño, determinan que, el año 1992 fue de baja precipitación, en tanto que, los años 2004 y 2005 fueron de alta precipitación; esto último permite establecer que, frente a la presencia del fenómeno del niño, puede ocurrir con mayor probabilidad que se presente alta precipitación en un año del ciclo fenómeno del niño y con baja probabilidad que se presente menor precipitación, es decir año seco en la cuenca del río Cachi; esta inferencia también se convierte en una hipótesis que con mayor evidencia se puede aceptar o rechazar, puesto que hay algunos resultados como la investigación de Esquivel-Hernández (2019), que las condiciones generadas por el fenómeno del Niño en Centro América provocaron un incremento de la precipitación.

4. CONCLUSIÓN

Las características de la precipitación de la cuenca del río Cachi, vistas desde la serie de datos colectados en las estaciones administradas por el Gobierno Regional de Ayacucho y las estimaciones estadísticas realizadas, aportan información para establecer que la precipitación mensual promedio a lo largo de los años de 1991 a 1999, presenta variaciones cíclicas suaves, excepto en el año 1993 que alcanzó una precipitación mensual media de 72.46 mm, no obstante, en el periodo del 2000 al 2008 se observa variaciones cíclicas más pronunciadas, que indican un ligero incremento de la precipitación en este tramo, probablemente generado por el calentamiento global. La precipitación promedio evaluada a lo largo de los meses del periodo de estudio, determina, que en época de verano hay un nivel muy alto de precipitación, factor importante para estimar el

La evaluación de la precipitación en la cuenca del río Cachi es importante porque es una de las vertientes que alimenta a la represa de Cuchoquesera, que provee agua para las distintas actividades de la población, por tanto, la precipitación en forma figurativa, es el termómetro o uno de los factores considerados para regular el caudal de salida de la represa; por otro lado, las limitaciones del presente estudio, radica que en algunas estaciones hidrometeorológicas de la cuenca Cachi, tienen pocos registros de la precipitación en el periodo de 1991 al 2008, entre las estaciones tenemos a: Ccollca (50), Apacheta (32), Chillicruz (50), Tambobamba (85), Choccoro (92), Chaquiccocha (83), Tintaypampa (86) y Cayramayo (82), pero la información aportada por Prado, (2015), ha permitido atenuar esta falta de datos, porque el comportamiento de la precipitación presenta patrones coincidentes entre el tramo de 1992 hasta 1999.

Los trabajos pendientes con la serie de datos originales de la precipitación registrados en las estaciones hidrometeorológicas de la cuenca Cachi administradas por el Gobierno Regional de Ayacucho, radican en aplicar algún método de completamiento de datos faltantes, luego, realizar pronósticos aplicando los modelos de series de tiempo, asimismo, está latente la posibilidad de agregar otras variables del clima, para realizar modelos estadísticos de causa – efecto, con el propósito de comprender en forma integral cómo se presenta el ciclo climático.

caudal de ingreso y salida de la represa de Cuchoquesera y prever riesgos de escasez de agua para las actividades de la población, en los demás meses la precipitación oscila desde un nivel muy bajo observado en los meses de mayo a julio, hasta un nivel alto observado en el mes de noviembre.

El comportamiento de la precipitación, según la altitud de las estaciones hidrometeorológicas, dividen a la cuenca del río Cachi, en Cuenca Alta, cuya altitud varía de 3446 a 4150 m.s.n.m. con una precipitación que oscila de 18.97 a 98.00 mm, y Cuenca Media, cuya altitud oscila entre 2620 a 3400 m.s.n.m., con una precipitación media que varía entre 43.92 a 97.90 mm.

El fenómeno del niño, para la cuenca del río Cachi, no siempre se presenta con alta precipitación, puede presentarse también con baja precipitación o tipificarlo como año seco.

5. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Adler, R. G. (2017). Precipitación global: medias, variaciones y tendencias durante la era de los satélites (1979-2014). *Encuestas en Geofísica*, 38, 679-699.
- Cacñahuaray Huillcahuari, W. J. (2015). Estimación de la disponibilidad hídrica usando imágenes digitales del satélite TRMM.
- Chúa Anaya, R. (2017). Desarrollo y calibración de un sistema informático para el análisis de tormentas, máximas avenidas y generación de lluvia escorrentía.
- Espinoza, J. R. (2011). Variabilidad climática y sequía extrema en el alto río Solimões (cuenca amazónica occidental): entendiendo la sequía excepcional de 2010. *Geofís. Res. Letón*, 38, 1.
- Esquivel-Hernández, G. M.-M.-R. (2019). Transporte de humedad y variaciones estacionales en la composición isotópica estable de la lluvia en Centroamérica y Páramo Andino durante condiciones de El Niño (2015-2016). *Procesos Hidrológicos*, 33, 1802 - 1817. <https://doi.org/10.1002/hyp.13438>.
- Heidinger, H. C. (2018). Una nueva evaluación de las tendencias de las precipitaciones totales y extremas en los Andes centrales y meridionales del Perú durante 1965-2010. *Revista Internacional de Climatología*, 38. <https://doi.org/10.1002/joc.5427>.
- Jobbágy, E. G. (1995). Estimación del régimen de precipitación a partir de la distancia a la cordillera en el noroeste de la Patagonia. *Ecología*, 5, 47-53.
- Leng, C. Y. (2019). Estimación de precipitaciones basada en MODIS mediante redes neuronales. 2019 8a Conferencia Internacional sobre AgroGeoinformática (AgroGeoinformática), 1-5. <https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics.2019.8820239>.
- Matovelle, C. A. (2021). Análisis de la influencia de la altitud en los eventos de máxima precipitación en una cuenca del Pacífico: tendencias y variabilidad. *Información tecnológica*, 32(6), 3-12.
- Mega, T. U. (2019). Mapeo satelital global de precipitaciones ajustado por calibre. *Transacciones IEEE sobre geociencia y teledetección*, 57, 1928-1935. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2870199>.
- Mohammadi, B. V. (2020). Un estudio de teleconexión espaciotemporal entre la precipitación peruana y las oscilaciones oceánicas. *Cuat. En t.* 565, 1-11. [doi:10.1016/j.quaint.2020.09.042](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.09.042).
- Moncada, W. A. (2015). Precipitación en la cuenca Cachi-Ayacucho, mediante imágenes satelitales y datos de estaciones meteorológicas.
- Moncada, W. M. (2014). Cuantificación hidrográfica de la cuenca del río Cachi-Ayacucho, mediante imágenes satelitales, *Ciencias Ambientales*. 3. <http://repositorio.udaff.edu>.
- Prado Barzola, E. (2015). Validación de caudales máximos a partir de precipitación estimada por percepción remota. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, E.P. de Ingeniería Civil.
- Scheel, M. R. (2011). Evaluación del desempeño del Análisis de Precipitación Multisatélite (TMPA) del TRMM en la región de los Andes Centrales y su dependencia de la resolución espacial.
- Senamhi. (2019). Caracterización espacio temporal de la sequía en los departamentos alto andinos del Perú (1981-2018). 31.
- Sobral, B. O.-J.-J.-J. (2019). Caracterización de la sequía en el estado de Río de Janeiro a partir del índice SPI anual: tendencias, pruebas estadísticas y su relación con ENSO. *Atmos. Res.* 220, 141-154. [doi:10.1016/j.atmosres.2019.01.003](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.01.003).
- Sun, Q. M. (2018). Una revisión de los conjuntos de datos de precipitación global: fuentes de datos, estimaciones e intercomparaciones. *Reseñas de Geofísica*, 56 (1), 79-107.
- Vaheddoost, B. (2020). A spatiotemporal classification of the peruvian precipitations between 1990 and 2015. *Pure and Applied Geophysics*, 177, 4509-4520.

- Van Loon, A. y. (2015). Severidad de la sequía hidrológica explicada por el clima y las características de la cuenca. *J. hidrol.* 526, 3–14. doi:10.1016/j.jhidrol.2014.10.059.
- Viale, M. y. (2011). Climatología de la precipitación orográfica invernal sobre los Andes centrales subtropicales y características regionales y sinópticas asociadas. *Revista de Hidrometeorología*, 12, 481-507. <https://doi.org/10.1175/2010JHM1284>.