

Distribución espacial del índice de concentración de precipitación diaria en los Andes centrales peruanos: valle del río Mantaro
Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in central Andes of Perú: Mantaro river valley

Zubieta Ricardo ^{a,b}, Saavedra Miguel ^a

^a Instituto Geofísico del Perú, Calle Badajoz 169 IV Etapa, Mayorazgo, Ate. Lima 03, Perú

^b Universidad Nacional Agraria la Molina, Av. La Molina s/n La Molina, Lima 03, Perú

Resumen

Los altos porcentajes de concentración de precipitación diaria en pocos días, pueden incrementar potencial de erosión, inestabilidad de laderas y riesgo de inundaciones, siendo estos problemas comunes en el Perú. Por lo que es importante el conocimiento acerca de la precipitación a nivel diario. En este artículo, ha sido llevado a cabo una investigación acerca de los patrones espaciales y temporales de la concentración de precipitación diaria en los Andes centrales del Perú, mediante el índice de concentración (IC), que evalúa la variación de la valoración de precipitación diaria, la contribución de grandes lluvias a la cantidad total presentada. El índice es aplicado a una curva exponencial como $Y = aX \exp(bX)$, el cual ajusta el porcentaje acumulado de precipitación en Y contribuida por el porcentaje acumulado de días X llevado a cabo en un lugar, en el periodo 1964-2004, con el cual es posible generar superficies de concentración pluviométrica. Donde las máximas concentraciones registradas en el valle del río Mantaro, posiblemente estén asociadas a la dinámica de los vientos, como la corriente de chorro de Sudamérica, que se adentran al valle proveniente del Norte y Sur. Donde el 25% de días más lluviosos representan el 60% o más de la cantidad total de días con lluvia.

Descriptores: *índice de concentración, precipitación diaria; curva exponencial; valle del río Mantaro.*

Abstract

High percentages of the yearly total precipitation concentration in a few very rainy days can increase the potential of erosion, slope instability and risks of floods, these problems are common in Peru. So it is important to know about the daily precipitation. In this paper, an investigation of the spatial and temporal patterns of daily precipitation concentration, in central Andes of Perú, by Concentration index (CI) that evaluates the varying weight of daily precipitation, the contribution of the days of greatest rainfall to the total amount, is presented. The index is applied to exponential curves such as $Y = aX \exp(bX)$, which adjust the accumulated percentages of precipitation Y contributed by the accumulated percentage of days X on which it took place, in the period 1964-2004, with which it is possible to generate concentration surfaces daily pluviometric. The highest concentrations recorded in the Mantaro river valley, may be associated with the dynamics of the winds as the jet stream in South America, leading into the valley from the north and south, where 25% of rainy days account for 60% or more of the total number of days with rain.

Keywords: *concentration index; daily precipitation; exponential curves; Mantaro river valley.*

Introducción

Uno de los más importantes aspectos del cambio climático que requiere investigación completa es el tiempo de distribución de la lluvia y sus cambios históricos. La lluvia es la más importante variable climática, ya que da a lugar a fenómenos opuestos como sequías e inundaciones [1]. Numerosos estudios de la variabilidad de precipitaciones han sido llevados a cabo en todo el mundo usando procedimientos estadísticos. La disminución significativa del número de días con lluvia e incremento significativo en la intensidad de precipitaciones, han sido identificados en diversas partes del mundo, tales como: China [2], América [3], España [4]. Sin embargo, en el Perú, a diferencia de precipitación anual y mensual, la importancia de la lluvia diaria no está a la par con la suficiente atención científica.

En el Perú, los eventos extremos asociados a deslizamientos, erosión de suelos, inundaciones, son comunes todos los años, por lo que es importante el conocimiento acerca de la precipitación a nivel diario, y el nivel de agresividad en suelos con escasa o abundante vegetación como es el caso del valle del río Mantaro y sus alrededores (Subcuencas del río Shullcas, Cunas, Achamayo). El valle del río Mantaro se caracteriza principalmente por estar asociada a la actividad agrícola en 50,000 Ha, además de ello es de exclusividad la actividad ganadera. Está ubicada entre la cordillera occidental y oriental de los Andes centrales peruanos. El comportamiento de la precipitación mensual en el Valle, es bastante similar en toda la cuenca del río Mantaro [5]. Las precipitaciones tiene una gran variabilidad estacional, estando marcado por una estación seca entre mayo y agosto, y una estación lluviosa entre setiembre y abril, cerca del 86% de las precipitaciones ocurren entre setiembre –abril, casi la mitad de la precipitación (49%) se concentra entre enero-marzo considerado como el pico de estación lluviosa, mientras que el 25% se da entre setiembre y noviembre [6].

La más alta concentración de precipitación, representada por un porcentaje de la precipitación anual total, en unos muy pocos días de lluvia, tiene un potencial a causar inundaciones y sequías. Como consecuencia puede ocasionar que el suelo sea más vulnerable a la erosión e incrementar la inestabilidad de la pendiente. En particular la vulnerabilidad del suelo afectara a las condiciones de cultivos y prácticas agrícolas alterando estrategias de gestión en el uso de la tierra [7].

En términos de estructura de la precipitación diaria, se conoce que la distribución de frecuencias es en general ajustable mediante distribuciones exponenciales [8]. Esto es porque, en la clasificación y tabulación de cantidades de precipitación diaria por longitud, su frecuencia decrece exponencialmente, empezando con clases bajas [9], esta resulta similar a una curva de duración en dirección inversa en base a lluvia diaria (ajustada a una curva de weibull), pero con características diferentes en cuanto a la ecuación que mejor se ajusta, debido a que en la curva de duración involucra la probabilidad de la lluvia, y la curva de concentración es deducida del número de eventos con cada clase. La estación de Huayao registra grandes cantidades pequeñas de lluvia diaria, mientras se dan pocas cantidades de grandes lluvias. Las escasas grandes cantidades pueden, sin embargo tener un peso considerable, representa un porcentaje notable de la cantidad total de un lugar dado. Consecuentemente, su ocurrencia en algún año dado puede tener un efecto decisivo sobre entrada hídrica [9]. Con el fin de determinar el impacto relativo o porcentaje de diferentes clases de precipitación diaria y especialmente para evaluar el peso de grandes cantidades sobre la cantidad total, este estudio analiza el porcentaje acumulado de precipitación Y, contribuido por el porcentaje acumulado de días X en la que se llevó a cabo. Para todo ello se emplea la metodología desarrollada por [9] en 2004. Dichos porcentajes están relacionados a la curva exponencial positiva, denominado curvas de lluvia normalizada [10, [11], [12] que muestran que tales funciones son de tipo exponenciales.

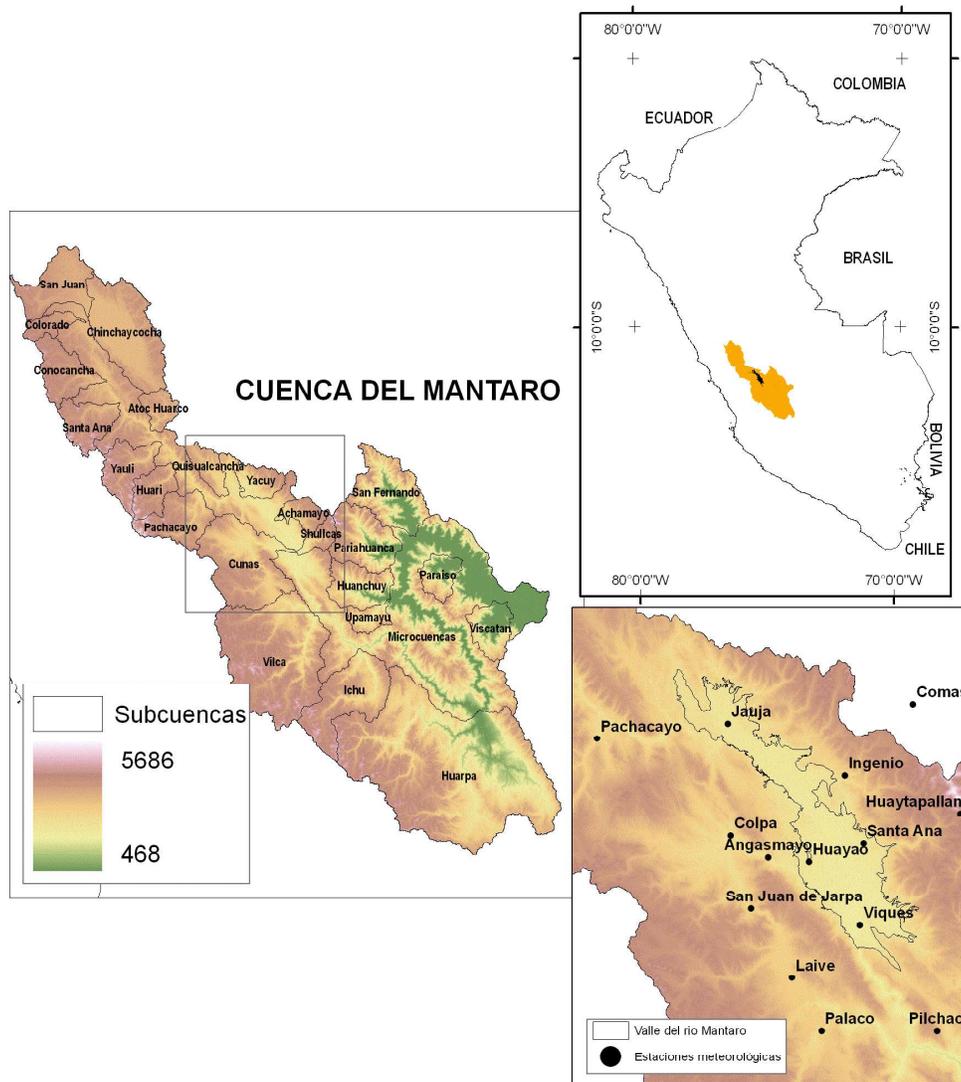


Figura 1: Localización de lugares mencionados en la investigación.

$$Y = aX \exp(bX) \quad (1)$$

Las aplicaciones de esas curvas en algunas regiones en España han sido realizadas por [13] en 1970, para 11 estaciones meteorológicas en Catalunya y por [4] en 1984 para 10 estaciones del Mediterraneo. En este último caso, el más grande peso de grandes cantidades de días en la cantidad total, fue obtenida en el sur del golfo de valencia, un camino de adaptación por encima de la curva a partir de la ecuación es a través de la curva [9].

Donde: a y b son constantes

$$Y = X \exp[-b(100 - X)^c] \quad (2)$$

Donde: b y c son constantes (Ananthakrishnan y Soman, 1989)

Las ecuaciones 1 y 2 resultan ser probabilísticas [10], que demostró que tales distribuciones están truncadas, en el sentido que los valores de lluvia arriba y debajo de umbrales ciertos, tienen probabilidad de ocurrencia cero.

Esta investigación intenta, metodológicamente, contribuir con el conocimiento de la estructura de la precipitación acumulada contribuida por el número de días de precipitación acumulada en el Perú, empleando datos homogenizados mediante el análisis de los patrones espaciales y temporales del IC. El IC es definido por [9] en 2004, este índice, el cual con el apoyo de tipo dado por medio de la ecuación (1), evalúa las diferencias entre los porcentajes de precipitación contribuidas por las diferentes clases. Este método ya ha sido verificado

en algunos lugares en la costa del Mediterraneo español, con 32 estaciones meteorológicas a través de la península de España [9], así también en Italia [1]. El índice de concentración es también un indicador de la intensidad de la precipitación y erosividad [9].

2. Metodología: concentración de precipitación diaria y calculo de índice de concentración

La metodología emplea el índice de concentración de precipitación diaria, que permite la evaluación de la concentración, se describe a continuación mediante un caso similar y de acuerdo a lo descrito por [9] en 2004:

En la primera columna de la tabla, las clases o límite de clases son presentados en orden ascendente y la columna 2 muestra sus puntos medios. En la tercera columna, el número de días de registros de precipitación de cada clase, o frecuencia absoluta. Así, por ejemplo después de 41 años (de periodo de estudio), 1275 días de lluvia registrados con cantidades que van desde 0.1 a 0.9 mm; mas de la mitad (835) presenta cantidades que van desde 1.0 a 1.9 mm; los días más lluviosos tienen entre 46 y 46.9m. En total hubieron 5326 días lluviosos, la suma de la tercera columna.

La cuarta columna muestra $\sum ni$, el cual es la frecuencia acumulativa obtenida de la adición de la frecuencia absoluta de toda las clases de arriba hacia abajo de la columna (obviamente la última clase tiene que ser el mismo número total de precipitaciones diarias). La columna P_i , es obtenida de la multiplicación, clase por clase, la segunda por la tercera, la cual es cada clase pluviométrica total. Sin embargo sustituyendo todos los valores de cada clase, por su punto medio es solo una aproximación, esto es suficientemente preciso. En la sexta columna, se muestra $\sum P_i$, los valores de la columna previa son progresivamente adicionados. Así, el valor de la última clase es el total del precipitación durante el periodo de estudio en este caso de 26 593 mm. Finalmente, los porcentajes de la columna cuatro y seis son presentados en la séptima y octava respectivamente. En otras palabras, la división de cada valor por el valor de la última columna y multiplicada por 100. Las ultimas 2 columnas pueden ser interpretadas como: la tercera parte de los días

con lluvia, 23.9 %, con 0.9mm o menos, representa solo el 2.4 % del total de la cantidad de precipitación, etc. El porcentaje acumulado de los días de lluvia (seguida de la última columna), $\sum ni$ (%) o X, es graficado con referencia al porcentaje de cantidad de lluvia (última columna), $\sum P_i$ (%) o Y. El resultado denota que la línea poligonal es marcadamente exponencial.

En la siguiente figura se observa la distribución, de dos estaciones (Pilchaca y Huayao), cuyos valores expresan la concentración. El bisector del cuadrante es la línea de equidistribución (Nos resultaría un caso ideal en el tiempo), donde la distribución de la precipitación diaria es perfecta. La concentración (o irregularidad diaria) puede ser considerada a ser una función de separación relativa de la línea de equidistribución. Así, la línea poligonal de Huayao, representa una mayor concentración o irregularidad que Pilchaca. Nótese, que de acuerdo a la estación de Huayao, el 10 % de los días más lluviosos representa el 45.3% de la cantidad total (el 90% de los días, después de ser ordenado, representa el 54.7% del total) comparado con el 36.2% de la estación de Pilchaca (el 90% de los días a cuenta, para el 63.8 % del total). En la estación de Huayao el porcentaje de días más lluviosos representa un mayor porcentaje del total anual que la estación Pilchaca. En consecuencia, la cantidad de lluvia diaria en la estación de Huayao, son muy diferentes que la estación de Pilchaca.

La línea poligonal mencionada es denominada curva de concentración o curva de Lorenz, ampliamente usado en muchas áreas [15]. El área S encerrada por el Bisector del cuadrante y la línea poligonal proporciona la medida de concentración, porque servirá para cuantificarlo [9].

Índice de Gini :

$$: 2S/10\,000 \quad (3)$$

La curva de concentración de Huayao presentada, cuenta con una de las mayores cantidades de precipitación diaria entre los analizados. Sin embargo, el método mencionado puede ser mejorado por sustitución de la línea poligonal por la curva exponencial del tipo de la ecuación (1). La

determinación de a y b por medio de método de mínimos cuadrados [9].

Tabla 1: Distribución de frecuencias en clases de 1 mm, frecuencias relativas acumuladas X y porcentaje del total de Precipitación Y en la estación de Huayao (1964-2004).

Clase	Punto medio	n	$\sum ni$	Pi	$\sum Pi$	$\sum ni (\%) = X$	$\sum Pi(\%) = Y$
0.1 - 0.9	0.5	1275	1275	637.5	637.5	23.9	2.4
1.0 - 1.9	1.5	835	2110	1252.5	1890.0	39.6	7.1
2.0 - 2.9	2.5	537	2647	1342.5	3232.5	49.7	12.2
3.0 - 3.9	3.5	414	3061	1449.0	4681.5	57.5	17.6
4.0 - 4.9	4.5	401	3462	1804.5	6486.0	65.0	24.4
5.0 - 5.9	5.5	341	3803	1875.5	8361.5	71.4	31.4
6.0 - 6.9	6.5	245	4048	1592.5	9954.0	76.0	37.4
7.0 - 7.9	7.5	218	4266	1635.0	11589.0	80.1	43.6
8.0 - 8.9	8.5	181	4447	1538.5	13127.5	83.5	49.4
9.0 - 9.9	9.5	134	4581	1273.0	14400.5	86.0	54.2
10.0 - 10.9	10.5	128	4709	1344.0	15744.5	88.4	59.2
11.0 - 11.9	11.5	107	4816	1230.5	16975.0	90.4	63.8
12.0 - 12.9	12.5	70	4886	875.0	17850.0	91.7	67.1
13.0 - 13.9	13.5	51	4937	688.5	18538.5	92.7	69.7
14.0 - 14.9	14.5	56	4993	812.0	19350.5	93.7	72.8
15.0 - 15.9	15.5	42	5035	651.0	20001.5	94.5	75.2
16.0 - 16.9	16.5	39	5074	643.5	20645.0	95.3	77.6
17.0 - 17.9	17.5	31	5105	542.5	21187.5	95.9	79.7
18.0 - 18.9	18.5	23	5128	425.5	21613.0	96.3	81.3
19.0 - 19.9	19.5	32	5160	624.0	22237.0	96.9	83.6
20.0 - 20.9	20.5	27	5187	553.5	22790.5	97.4	85.7
21.0 - 21.9	21.5	20	5207	430.0	23220.5	97.8	87.3
22.0 - 22.9	22.5	14	5221	315.0	23535.5	98.0	88.5
23.0 - 23.9	23.5	15	5236	352.5	23888.0	98.3	89.8
24.0 - 24.9	24.5	17	5253	416.5	24304.5	98.6	91.4
25.0 - 25.9	25.5	14	5267	357.0	24661.5	98.9	92.7
26.0 - 26.9	26.5	6	5273	159.0	24820.5	99.0	93.3
27.0 - 27.9	27.5	4	5277	110.0	24930.5	99.1	93.7
28.0 - 28.9	28.5	4	5281	114.0	25044.5	99.2	94.2
29.0 - 29.9	29.5	12	5293	354.0	25398.5	99.4	95.5
30.0 - 30.9	30.5	4	5297	122.0	25520.5	99.5	96.0
31.0 - 31.9	31.5	2	5299	63.0	25583.5	99.5	96.2
32.0 - 32.9	32.5	3	5302	97.5	25681.0	99.5	96.6
33.0 - 33.9	33.5	2	5304	67.0	25748.0	99.6	96.8
34.0 - 34.9	34.5	1	5305	34.5	25782.5	99.6	97.0
35.0 - 35.9	35.5	3	5308	106.5	25889.0	99.7	97.4
36.0 - 36.9	36.5	2	5310	73.0	25962.0	99.7	97.6
37.0 - 37.9	37.5	4	5314	150.0	26112.0	99.8	98.2
38.0 - 38.9	38.5	5	5319	192.5	26304.5	99.9	98.9
39.0 - 39.9	39.5	3	5322	118.5	26423.0	99.9	99.4
40.0 - 40.9	40.5	1	5323	40.5	26463.5	99.9	99.5
41.0 - 41.9	41.5	2	5325	83.0	26546.5	100.0	99.8
42.0 - 42.9	42.5	0	5325	0.0	26546.5	100.0	99.8
43.0 - 43.9	43.5	0	5325	0.0	26546.5	100.0	99.8
44.0 - 44.9	44.5	0	5325	0.0	26546.5	100.0	99.8
45.0 - 45.9	45.5	0	5325	0.0	26546.5	100.0	99.8
46.0 - 46.9	46.5	1	5326	46.5	26593.0	100.0	100.0
47.0 - 47.9	47.5	0	5326	0.0	26593.0	100.0	100.0
Suma		5326		26593			

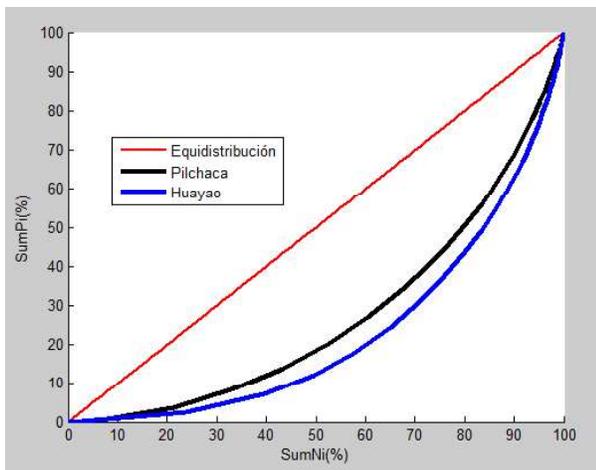


Figura 2: Curva de concentración para Huayao y Pilchaca.

La línea poligonal mencionada es denominada curva de concentración o curva de Lorenz, ampliamente usado en muchas áreas [15]. El área S encerrada por el Bisector del cuadrante y la línea poligonal proporciona la medida de concentración, porque servirá para cuantificarlo [9].

Índice de Gini :

$$: 2S/10\,000 \tag{3}$$

La curva de concentración de Huayao presentada, cuenta con una de las mayores cantidades de precipitación diaria entre los analizados. Sin embargo, el método mencionado puede ser mejorado por sustitución de la línea poligonal por la curva exponencial del tipo de la ecuación (1). La determinación de a y b por medio de método de mínimos cuadrados [9].

$$\ln a = \frac{\sum X_i^2 \sum \ln Y_i + \sum X_i \sum X_i \ln X_i - \sum X_i^2 \sum \ln X_i - \sum X_i \sum X_i \ln Y_i}{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \tag{4}$$

$$b = \frac{N \sum X_i \ln Y_i + \sum X_i \sum \ln X_i - N \sum X_i \ln X_i - \sum X_i \sum \ln Y_i}{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \tag{5}$$

Una vez que ambas constantes han sido determinadas, la integral definida de la curva exponencial entre 0 y 100, es el área debajo de la curva:

$$A' = \left[\frac{a}{b} e^{bx} \left(x - \frac{1}{b} \right) \right]_0^{100} \tag{6}$$

El área S' comprimida por la curva, la línea de equidistribución y x=100 es la diferencia entre 5000 y el valor de la ecuación 6. De este valor, el siguiente índice de concentración IC de la precipitación diaria, que se asemeja a la de Gini [9], puede ser definido:

$$IC = 2 S'/1000 \tag{7}$$

O simplemente CI= S'/5000. Note que el valor de CI es la fracción de S' y el área superficial del menor triángulo delimitado por la línea de equidistribución [9]. En el caso Huayao, (Tabla 1) aplicando ecuaciones (4) y (5), resulta a =0.055, b=0.0286, la ecuación 7 resulta IC= 0.55.

3. Concentración de precipitación diaria en el valle del río Mantaro

La curva exponencial del tipo en la ecuación (1) fueron calculados para 14 estaciones a través del valle del río Mantaro para el periodo de 1964-2004.

Tabla 2: Precipitación media anual P, coeficiente de variación CV, promedio de días lluviosos N para 14 estaciones en el Valle del río Mantaro (periodo 1964-2004).

Estación	msnm.	P(mm)	CV%	N
Angasmayo	3280	651	36	120
Colpa	3450	717	18	138
Comas	3300	925	19	148
Huayao	3308	752	14	156
Huaytapallana	4510	854	16	136
Ingenio	3450	755	33	123
Jauja	3322	704	21	128
Laive	3990	937	18	131
Pachacayo	3550	669	17	160
Palaco	3650	659	21	141
Pilchaca	3570	728	17	104
Jarpa	3726	1053	28	138
Santa Ana	3295	646	15	140
Viques	3186	703	24	95

Las estaciones, ubicadas en las principales ciudades, son aquellas que tienen registro de datos históricos. Los constantes de a y b se detallan en la tabla 3:

Tabla 3: Constantes a y b, Índices de concentración IC y porcentaje de precipitación contribuida por el 25% de días lluviosos P, para 14 estaciones meteorológicas en el valle del río Mantaro.

Estación	a	b	CI	P %
Angasmayo	0.0771	0.0255	0.50	61.4
Colpa	0.0477	0.0303	0.55	66.9
Comas	0.0953	0.0234	0.48	58.2
Huayao	0.0555	0.0286	0.55	65.6
Huaytapallana	0.0619	0.0274	0.53	64.8
Ingenio	0.0758	0.0256	0.51	61.9
Jauja	0.0679	0.0267	0.52	63.5
Laive	0.0814	0.0250	0.50	60.6
Pachacayo	0.0511	0.0295	0.55	66.7
Palaco	0.0559	0.0287	0.54	65.4
Pilchaca	0.0997	0.0230	0.47	58.0
Jarpa	0.0902	0.0241	0.48	58.4
Santa Ana	0.0612	0.0277	0.53	64.6
Viques	0.0341	0.0335	0.59	70.5

El ajuste de la curva exponencial es aceptable, en todos los casos como por ejemplo, lo ilustrado por Huayao, donde la superposición de sus respectivas curvas de concentración, (queda claro que el punto 100,100 no pertenece a la curva).

Las ecuaciones 6 y 7 fueron empleadas para calcular los IC de las 14 estaciones.

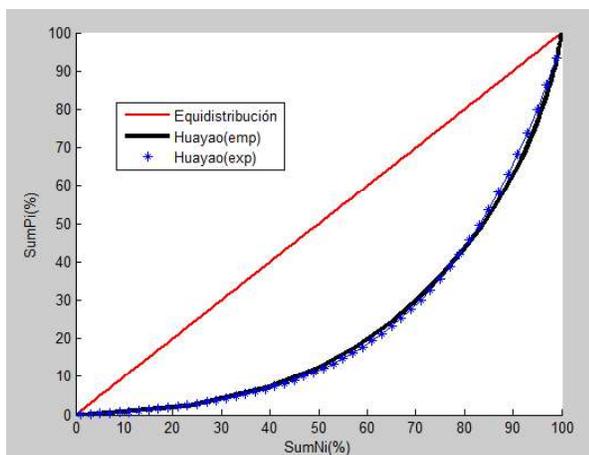


Figura 3: Valores empíricos (curva de concentración) y curva exponencial obtenidos de las ecuación1, para Huayao.

Los valores de IC tienen 0.59 en Viques ubicada a la salida del Valle, seguido por Huayao Colpa y Pachacayo alcanza 0.55, siendo el mínimo 0.47 en

Pilchaca. El Valle está enmarcado entre la cordillera occidental y oriental de los andes centrales peruanos. En el sector central del Perú, los vientos predominan en la dirección Este-Oeste, es decir son flujos de aire húmedos y cálidos, proveniente de la Amazonia [5].

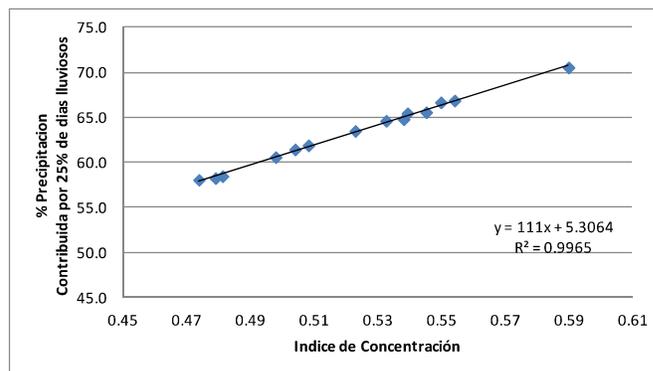


Figura 4: Correlación de índice de concentración por la contribución del 25% de días más lluviosos.

Así la diferencia, el cual alcanza un 12% de variación en la superficie comprimida por las exponenciales de ambas estaciones y la línea de equidistribución, ello significa que los patrones de precipitaciones pluviométricas son notablemente diferentes.

Mediante la curva de concentración, los porcentajes de precipitación contribuidos por el 25 % de días más lluviosos (aquellos con gran cantidad) se presentan en la tabla 3.

Los valores de porcentajes extremos, al igual que en los IC se presentan en las mismas estaciones, Viques con 70.5% y Pilchaca con 58 %, en este caso la variación es de 12.5%, siendo altamente correlacionados. Puede notar que en 10 de 14 estaciones, el 25 % de los días más lluviosos representan entre 60% o más de la cantidad total de días.

4. Distribución espacial de concentraciones de lluvia del valle del río Mantaro y alrededores

La precipitación anual es generalmente moderada en el Valle del río Mantaro (el promedio aproximado es escasamente 700 mm), este promedio oculta eventos extremos. En distritos alejados del Valle, con altitudes mayores a 3300 como San Juan de Jarpa, Comas, Laive, Huaytapallana, los valores de precipitación pueden exceder 900 mm. La

variabilidad de la precipitación es moderada en el valle. El coeficiente de variación (desviación típica entre la media) en la mayoría de las estaciones es alrededor del 20%, donde otras pueden alcanzar 36%.

La concentración de lluvia diaria a través del IC muestra contrastes apreciables. Sin tomar en cuenta el índice de concentración analizado, el estudio del Valle y sus alrededores, es necesario con el objetivo de entender el fenómeno completamente. Los patrones que rigen las precipitaciones son usualmente complejos, tales como: 1. Los flujos de aire húmedo y cálido proveniente de la Amazonia, 2. La ubicación entre la cordillera oriental y occidental de los andes centrales peruanos. 3. La variedad considerable de altitud, y orientación de la pendiente en las cuencas.

En artículos previos de [4] y [9], fueron usados para mostrar incrementos o reducciones en regiones de España. Los índices de concentración mostrados en la tabla 3, y representados en la figura 5 mediante isóneas y unidos mediante patrones espaciales de concentración de precipitación diaria en el Valle y alrededores del río Mantaro, donde el más alto valor logrado esta en Viques (0.59). Las isóneas alrededor de Viques, grafican su alto valor.

(aproximadamente 4 mm diarios). El 29.5% de los días con lluvias está asociado eventos de lluvias mayores a 4 mm hasta grandes tormentas de 59.4mm. En las regiones más alejadas del Valle, como San Juan de Jarpa, Pilchaca, Comas se encuentran con la más baja concentración diaria y donde la región entre Ingenio, Jauja y Comas es la de mayor regularidad entre la cantidad de precipitación diaria. En la parte central del Valle (oeste-sur), predomina los índices de concentración $IC > 0.52$ como Huayao(0.55), Santa Ana(0.53), Jauja(0.52), Viques(0.59). El valor de 0.52 significa aproximadamente 63.4% de la cantidad total de días con precipitación, está siendo contribuida por el 25% de los días más lluviosos.

El Valle del río Mantaro representada en la figura 5 presenta una caracterización espacial e identificación de áreas con mayor contraste de lluvia diaria y mayor agresividad e intensidad de la lluvia, el cual muestra dos núcleos de máxima concentración. En el Valle, los vientos están esencialmente condicionados a las forzantes dinámicas como la

corriente de chorro de Sudamérica (CCSA). La cual llega a los andes con dirección Norte(N) y esta a su vez ingresa a la cuenca por el Nor-orient entre la subcuencas de Quisualcancha y Yacuy con dirección Norte (N), y por el Sur-orient entre las subcuencas de ceja de selva con dirección Sur(S) y Sureste (SE) [16]. Los dos núcleos de concentración posiblemente estén asociados a la dinámica de los vientos, que se adentran al valle proveniente del Norte y Sur.

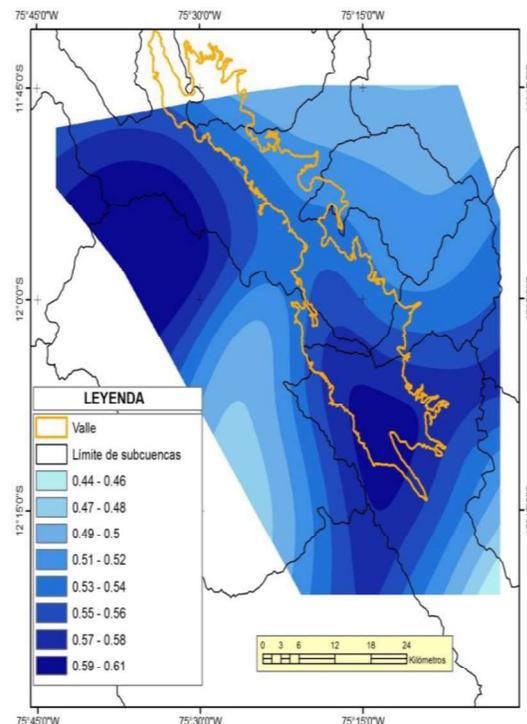


Figura 5: Mapa de índices de concentración.

El valor de 0.59 expresa que el 70.5% de la cantidad de días con precipitación implica el 25% de los días recurrentemente más lluviosos

La parte central y norte del Valle del río Mantaro presenta mayores precipitaciones, mientras que la zona sur (Viques) tiene cerca de 25% menos de lluvias, son 25% inferiores a la lluvia de Huayao (Silva et al 2010), por lo que hay una relación inversa con las concentraciones de precipitación diaria en el Valle.

La correlación negativa entre IC y la precipitación anual, $r(-0.53)$ (concentración de lluvias en un muy pocos días aparentemente grande en lugares con baja precipitación anual), parece relacionar de manera inversa el comportamiento pluviométrico en

escala anual a una escala diaria. En contraste, con lo que ocurre con la precipitación anual, no hay significancia entre el número de días lluviosos y el IC: 0.02, tampoco entre el coeficiente de variación y el IC: 0.05.

5. Conclusiones

El análisis estadístico de la precipitación diaria, ha sido realizado por medio de la curva de concentración, representando la distribución de la lluvia diaria, que relaciona los porcentajes de precipitación Y contribuido por el porcentaje acumulado de días X , en el cual se llevó a cabo. Estas curvas pueden ser ajustadas a través de la función exponencial de la ecuación (1). Los valores IC obtenidos en 14 estaciones ubicadas en el valle del río Mantaro y alrededores para el periodo 1964-2004, van a partir de Pilchaca (0.47) a Viques (0.59). El mapa de índice de concentración divide en 3 zonas, de las cuales hay 2 núcleos de altos índices, los dos núcleos de concentración posiblemente estén asociados a la dinámica de los vientos, como la corriente de chorro de Sudamérica, que se adentran al valle proveniente del Norte y Sur. Donde el 25% de días más lluviosos representan el 60% o más de la cantidad total de días. El área con mayor concentración de lluvia diaria esta alrededor de la estación de Viques, el cual es también la zona de menor precipitación anual, donde hay correlación negativa entre IC y la precipitación anual, $r(-0.53)$. La cantidad de lluvia mensual o anual ocultan altamente diferentes magnitudes de lluvia diaria en el Valle, su ocurrencia puede cambiar el régimen mensual o estacional de la temporada de avenidas. Estudiar las concentraciones de lluvia diaria ayudará a entender de mejor manera los eventos extremos asociados a deslizamientos, inundaciones, periodos cortos sin lluvia (Veranillos), mediante caracterización espacial y temporal. Resulta de gran importancia realizar el estudio de tendencias de concentraciones de lluvia diaria en todo el Perú, y establecer cuál ha sido su variación en el tiempo y en consecuencia asociarlos a los impactos futuros en el suelo

r

Referencias

- [1] Coscarelli R., Caloiero T., (2012) Analysis of daily and monthly rainfall concentration in Southern Italy (Calabria region). *J.Hydrol.* 416–417 145–156.
- [2] Ren, G.Y., Wu, H., Chen, Z.H., 2000. Spatial patterns of change trend in rainfall of China. *Quart. J. Appl. Meteorol.* 11, 322–330.
- [3] Karl, T.R., Knight, R.W., Easterling, D.R., Quayle, R.G., 1996. Indices of climate change. *Am. Meteorol. Soc.* 77, 279–292.
- [4] Martin-Vide J. 1984. Análisis de la irregularidad de la precipitación diaria en el litoral mediterráneo de la Península Ibérica. *Revista de Geofísica* 40: 101–106.
- [5] IGP 2005. Atlas climático de precipitaciones y temperaturas en la cuenca del río Mantaro-Fondo Editorial del CONAM Lima, Perú.
- [6] Silva, Y., 2010. Variabilidad de las precipitaciones en el valle del río Mantaro. Pronóstico estacional de lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro para su aplicación en la agricultura 2007-2010. 2,52-56.
- [7] Scholz, G., Quinton, J.N., Strauss, P., 2008. Soil erosion from sugar beet in Central Europe in response to climate change induced seasonal precipitation variations. *Catena* 72, 91–105.
- [8] Brooks CEP, Carruthers N. 1953. *Handbook of Statistical Methods in Meteorology.* Meteorological Office: London.
- [9] Martin-Vide, J., 2004. Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in Peninsular Spain. *Int. J. Climatol.* 24, 959–971.
- [10] Jolliffe, I.T., Hope, P.B., 1996. Representation of daily rainfall distributions using normalized rainfall curves. *Int. J. Climatol.* 16, 1157–1163.
- [11] Riehl, H., 1949. Some aspects of Hawaiian rainfall. *B. Am. Meteorol. Soc.* 3, 176–187.
- [12] Olascoaga, M.J., 1950. Some aspects of Argentine rainfall. *Tellus* 2, 312–318.
- [13] Guillo AM, Puigcerver M. 1970. Sobre las contribuciones relativas de las precipitaciones local y generalizada a la precipitación total en Cataluña. *Revista de Geofísica* XXIX(3): 203–215.

- [14] Ananthakrishnan R, Soman MK. 1989. Statistical distribution of daily rainfall and its association with the coefficient of variation of rainfall series. *International Journal of Climatology* **9**: 485–500.
- [15] Shaw G, Wheeler D. 1994. *Statistical Techniques in Geographical Analysis*. Halsted Press: New York.
- [16] Mamani, D., Silva, Y., 2010. Vientos Superficiales en valle del Mantaro. Memoria de Subproyecto- Pronostico estacional de lluvias y temperaturas en la cuenca del rio Mantaro para su aplicación en la agricultura 2007-2010. 2,23-27.

E-mail: ricardo.zubieta@igp.gob.pe