



XVIII Congreso Peruano de Geología

Patrones cambiantes de la concentración de precipitación diaria en la cuenca del río Mantaro

Ricardo Zubieta^{1,2}, Miguel Saavedra¹, Yamina Silva¹, y Lucy Giráldez¹

¹ Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera (SCAH), Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima, Perú

² Programa de Doctorado en Recursos Hídricos, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

Correspondencia a: R. Zubieta (ricardo.zubieta@igp.gob.pe)

1. Introducción

Numerosos estudios acerca de la variabilidad espacio-temporal de la precipitación empleando datos mensuales y técnicas estadísticas se han llevado a cabo en los Andes (Espinoza et al 2009; Lavado et al. 2012 entre otros). Sin embargo, la precipitación diaria en los Andes no ha sido investigada al mismo nivel que la precipitación mensual o anual (Zubieta & Saavedra, 2013). Este es un tema de gran interés, ya que la presencia de los Andes contribuye a una mayor variabilidad de las precipitaciones (Espinoza et al., 2009). Grandes cantidades de lluvia precipitados durante varios días tiene el potencial de causar erosión del suelo, inestabilidad de taludes, deslizamientos de tierra e inundaciones (Cortesi et al. 2012). Además, se espera que los patrones espacio-temporales de la intensidad de precipitaciones cambie en el futuro, y eventos climáticos extremos sean propensos a ocurrir con mayor frecuencia (Coscarelli y Caloiero, 2012). Por tanto, es de importancia analizar la estructura estadística de precipitación diaria. Un método para describir la variabilidad espacial de días con mayor precipitación en comparación con la cantidad total es el índice de concentración de la precipitación (IC) (Martin-Vide 2004). El cual ha sido empleado en el análisis de eventos meteorológicos extremos, aspectos del cambio climático y su impacto en la irregularidad de la lluvia en Europa

(Cortesi et al. 2012) y regiones de Asia (Shi et al., 2013).

Para evaluar la peligrosidad o susceptibilidad a movimientos en masa sobre cuencas de gran o mediana escala, son por lo general utilizando mapas como: uso de la tierra (y/o vegetación), pendientes, geología (litología), geomorfología, clima (precipitación anual) (MINAM-PERÚ 2010, INGEMMET-PERÚ entre otros). Estos son evaluados según su importancia usando sistemas de información geográfica (SIG) y comparados entre ellos mismos. Para obtener mapas de amenaza o peligrosidad, durante su procesamiento, suele ser factible emplear precipitación anual y asociarlo a capacidad de erosión (por ejemplo: 0 - 375 mm baja capacidad o 3000-6000 mm de muy alta capacidad) (MINAM 2010). No obstante, el análisis de estos datos, puede conducir a una interpretación limitada de la distribución espacio-temporal de lluvia diaria. Ya que una alta concentración de precipitación, representada por un mayor porcentaje de la precipitación total anual en días muy lluviosos no son considerados en el procesamiento. Los fenómenos meteorológicos extremos asociados a estos eventos son frecuentes en la cuenca del río Mantaro (CRM), donde la precipitación diaria ha sido poco investigada. La CRM está localizada entre las cordilleras oeste y este de los Andes centrales del Perú con un área de drenaje de 34,550 km² y

altitudes que van desde 500 a 5300 m.s.n.m (Fig. 1a). En esta región, deslizamientos superficiales inducido por la lluvia pueden ocurrir repentinamente y podría abarcar una amplia gama de masa de suelo liberado durante una precipitación extrema, Siendo particularmente frecuentes en los Andes del Perú (INGEMMET, 2010). Con el fin de mejorar el conocimiento acerca de la estructura estadística de la precipitación diaria, mediante el análisis de concentración de la precipitación en la CRM, los principales objetivos de este estudio son: 1) Analizar la distribución espacial de la concentración e intensidad de lluvia diaria 2) analizar los patrones cambiantes en la concentración de lluvia diaria en la CRM empleando test de tendencia.

2. Datos y métodos

Datos de lluvia diaria de 80 estaciones pluviométricas (1961-2011) fueron recopilados a partir del Instituto Geofísico del Perú (IGP), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), e *International Research Institute* (IRI), ELECTRO-PERU (Fig. 1a). No obstante, para garantizar la máxima disponibilidad de datos, se seleccionó un período común (1974-2004) y solo series con menos del 5% de los datos faltantes, esta base de datos se compuso por un total de 46 estaciones de lluvia. Asimismo, para evaluar su calidad, datos mensuales fueron sometidos mediante el método vectorial regional (RVM) (Hiez 1977; Brunet-Moret 1979), considerando una misma zona climática, cuya precipitación anual muestra proporcionalidad entre las estaciones.

La frecuencia absoluta de datos diarios disminuye exponencialmente (donde un día con lluvia se define como una día con al menos 0.1 mm.), ya que empieza con las clases más bajas. Por lo tanto, algunos lugares donde caen varias pocas grandes cantidades de lluvia diaria, es más probable tener muchas pequeñas cantidades diarias de lluvia (Martin-Vide 2004). La curva normalizada de lluvia obtenida a partir de esta clasificación provee un gráfico del porcentaje acumulado de cantidad de lluvia (y) en relación al porcentaje de días con lluvia (x) (ver Fig. 1b). La curva resultante obtenida para cada serie de datos fue ajustada por una curva exponencial. Por ejemplo, el ajuste de la curva exponencial es aceptable en la estación C, donde esta se superpone a su respectiva curva de concentración (valores empíricos) (Fig. 1b). La concentración o irregularidad de la precipitación diaria es referida como una función de la separación relativa entre la línea de equidistribución y curva de concentración (Martin-Vide 2004). Por lo que la estación de C indica una región con mayor concentración que la

estación de B o A. Note que en la Estación C, el 10% de días con lluvia representa 42% de la contribución de la lluvia total (comparada al 38.4% y 30% en la estaciones A y B) (Fig. 1c). Por lo tanto, la lluvia diaria en C es más irregular que en A y B. Una descripción completa de que la curva de concentración puede ser considerada una distribución de probabilidad, puede ser encontrada en Martin-Vide (2004). Umbrales de lluvia para la iniciación de eventos como deslizamientos, inundaciones puede ser variable en espacio y tiempo a lo largo de la CRM. La lluvia extrema en una región puede ser normal en otra región, debido a ello, cuatro categorías son propuestas: menor al percentil 30 es considerado eventos bajos. Valores de percentil 30 y 60 para eventos moderados, mientras el percentil 60 y 80 para eventos altos. Valores mayores a los percentiles 80 y 90 son considerados como eventos de muy alta intensidad y eventos extremos respectivamente. Por otro lado, en este estudio, ha sido empleada la prueba de Mann-Kendall para analizar tendencias (Mann, 1945; Kendall, 1975) y poder detectar posibles impactos del cambio climático y variabilidad sobre la serie de tiempo de precipitación diaria.

3. Resultados y Discusión

Al analizar la distribución espacial de lluvia anual, las regiones centro y norte son menos lluviosas (IGP, 2005), esto es corroborado al analizar la intensidad media de lluvia diaria (Fig.2a). No obstante, los más altos valores de concentración son principalmente localizados en la región norte y central de la CRM (IC 0.49-0.56) (Fig.2b). Esta máxima concentración de lluvia diaria, da evidencia de por qué algunos de estos lugares son más probablemente afectados por inundaciones o deslizamientos. Las diferencias encontradas entre la concentración e intensidad de lluvia diaria, sugiere una influencia de la orografía en el arribo de humedad proveniente de la Amazonía hacia los Andes.

Nuestro resultados indican que el porcentaje promedio de la contribución de días con lluvia para eventos de baja intensidad es 36%, contrariamente solo contribuye aproximadamente el 9% de la cantidad de lluvia. En contraste a los eventos de intensidad baja, el porcentaje de la contribución de días con lluvia para eventos de intensidad alta y muy alta es 37% contribuyendo aproximadamente el 72% de la cantidad de lluvia (Tabla 1). Las contribuciones de días con lluvia y cantidad de lluvia para eventos de intensidad alta y muy alta muestran similares patrones (Fig. 3a-d). Esto indica que la frecuencia de días con lluvia y cantidad de lluvia está

altamente asociada a lo largo de la cuenca del Mantaro, el cual puede ser debido a la estacionalidad de lluvia y su relación con circulación atmosférica de gran escala.

Las regiones identificadas en riesgo (IC 0.49-0.56) de precipitación extrema son corroboradas cuando son analizadas las contribuciones de eventos de alta intensidad (Fig. 3c-d) y eventos extremos, ya que son altamente asociadas a la concentración de lluvia diaria (correlación 0.8 y 0.9 respectivamente, $p < 0.01$). La consideración de solo datos de lluvia anual, estacional o mensual puede conducir a una interpretación errónea, sin embargo, nuestros resultados a partir de lluvia diaria permiten cuantificar la distribución de patrones de lluvia. Además, este estudio desempeña un importante rol para apoyar la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos, debido a las grandes pérdidas económicas que son asociadas con eventos de intensas precipitaciones en la cuenca del río Mantaro.

Para analizar las tendencias de concentración de precipitación diaria, ha sido empleada la prueba de Mann-Kendall. Para esto, han sido calculados índices de concentración estacionales para cada año empleando 25 estaciones para el periodo 1961-2011 (Fig. 3e-g). A pesar de que en la mayoría de estaciones, los resultados no identifican un patrón significativo uniforme. Hay más series de CI con tendencias positivas que negativas en regiones del nor-este y sur-oeste de la cuenca, estos hallazgos sugieren un debilitamiento de la estacionalidad de lluvias, manifestándose en incremento de la probabilidad de presentarse eventos de precipitación extrema.

Agradecimientos

Al Instituto Geofísico del Perú (IGP), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Instituto de Investigación Internacional (IRI) y ELECTRO-PERÚ por proveer datos observados. A J. Chunga por su apoyo en el procesamiento previo de datos. Agradecimientos al proyecto MAREMEX (IGP, 2012) que fue financiado por la Internacional Research Development Center, IDRC-Canadá. Las sugerencias de D. Ramírez, A. Verastegui y B. Fraser fueron muy apreciadas.

Referencias

Brunet-Moret Y (1979). Homogénéisation des précipitations. *Cahiers ORSTOM, Série Hydrologie* **16**: 3-4

- Cortesi N, Gonzalez-Hidalgo JC, Brunetti M, and Martin-Vide J (2012) Daily precipitation concentration across Europe 1971-2010. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **12**, 2799-2810. doi: 10.5194/nhess-12-2799-2012.
- Coscarelli R, Caloiero T (2012) Analysis of daily and monthly rainfall concentration in Southern Italy (Calabria region). *J. Hydrol.* **416-417** 145-156. doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.11.047.
- Espinoza JC, Ronchail J, Guyot JL, Cocheneau G, Filizola N, Lavado W, de Oliveira E, Pombosa R, and Vauchel P (2009) Spatio - Temporal rainfall variability in the Amazon Basin Countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia and Ecuador). *International Journal of Climatology*, **29**, 1574-1594. DOI: 10.1002/joc.1791.
- Hiez G (1977). L'homogénéité des données pluviométriques. *Cahier ORSTOM, série Hydrologie* **14**: 129-172.
- IGP (2005). *Diagnóstico de la cuenca del río Mantaro bajo la visión de cambio climático*, Fondo Editorial CONAM. Lima, Perú.
- INGEMMET (2010) Mapa inventario de movimientos en masa del Perú, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Perú.
- Kendall MG, (1975) Rank Correlation Methods. Griffin, London.
- Lavado WC, Labat D, Ronchail J, Espinoza JC and Guyot JL (2012) Trends in rainfall and temperature in the Peruvian Amazon-Andes basin over the last 40 years (1965-2007). *Hydrol. Process.*, **27**: 2944-2957. doi: 10.1002/hyp.9418
- Mann HB (1945) Nonparametric tests against trend. *Econometrica* **13**, 245-259.
- MINAM (2010). Guía técnica de modelamiento SIG para la zonificación ecológica económica. Dirección General de Ordenamiento Territorial
- Martin-Vide J (2004) Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in Peninsular Spain. *Int. J. Climatol.* **24**, 959-971. DOI: 10.1002/joc.1030
- Shi P, Qiao X, Chen X, Zhou M, Qu S, Ma X, Zhang Z (2013) Spatial distribution and temporal trends in daily and monthly precipitation concentration indices in the upper reaches of the Huai River, China. *Stoch Environ Res Risk Assess* DOI 10.1007/s00477-013-0740-z.
- Zubieta R, Quijano J, Latínez K, Guillermo P (2012) Evaluación de las zonas de peligro frente a inundaciones por máximas avenidas en el valle del río Mantaro: Manejo de riesgos de desastres ante eventos meteorológicos extremos en el valle del Mantaro. Vol. II Proyecto Maremex Mantaro. Instituto Geofísico del Perú. Lima, p95.

Zubieta R and Saavedra M (2013) Distribución espacial del índice de concentración de precipitación diaria en los Andes centrales peruanos: valle del río Mantaro. Vol. 9, N^o. 2 págs. 61-70, Revista del Encuentro Científico Internacional ECIPeru.

Ilustraciones

Tabla 1: Resultados promedio para el área de estudio

Parámetro	Mín	Máx.	Prom.	CV(%)
Promedio de día con lluvia	0.2	53.9	5.42	18
CI	0.44	0.56	0.49	7
Eventos extremos	24	36	30	9
Frecuencia de eventos / días con lluvia				
Intensidad Baja	31	39	36	5
Intensidad moderada	21	30	27	6
Intensidad alta	17	23	19	5
Intensidad Muy alta	17	20	18	3
Frecuencia de eventos / cantidad de lluvia				
Intensidad Baja	5	13	9	21
Intensidad moderada	15	23	19	11
Intensidad alta	22	27	24	5
Intensidad Muy alta	42	55	48	7

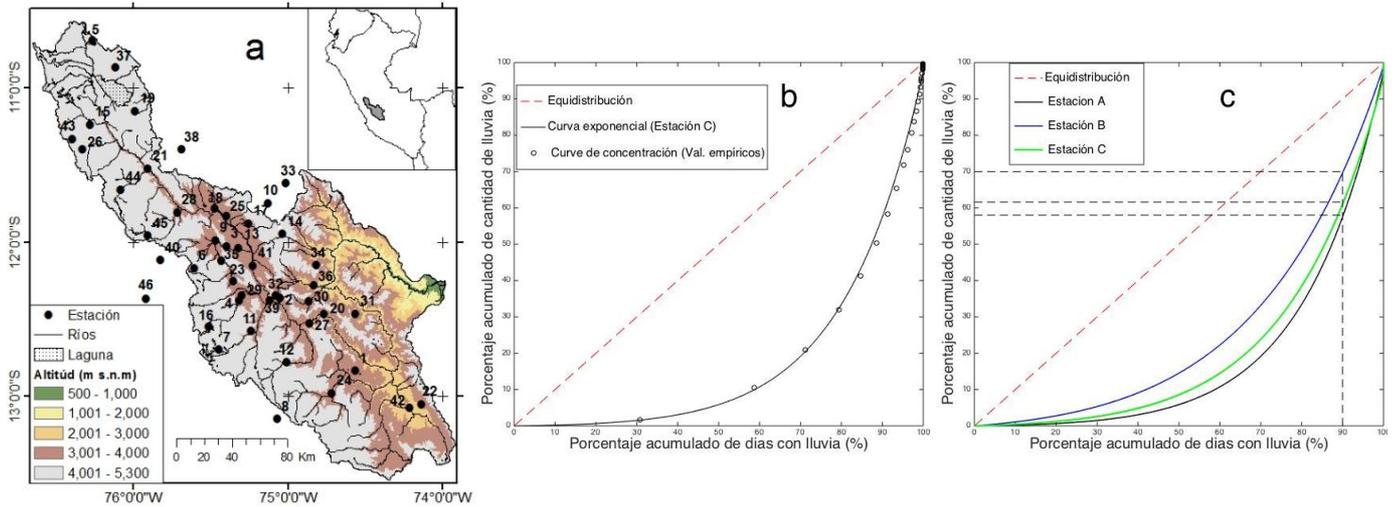


Fig. 1. (a) Localización de río Mantaro, cuenca del Río Mantaro y ubicación de estaciones pluviométricas. b) línea de equidistribución, curva de concentración, b) Comparación de curvas de concentración

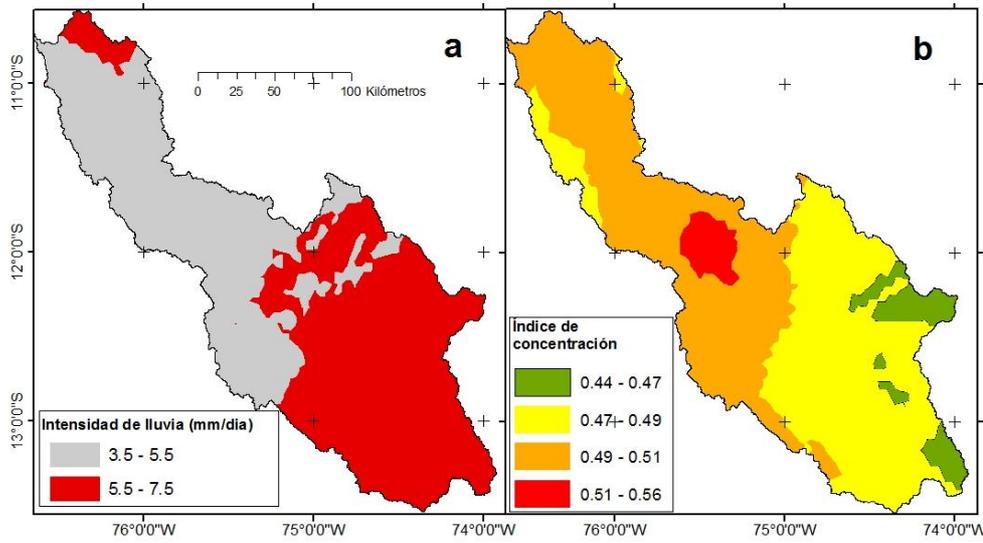


Fig 2. a) Intensidad de lluvia, b) índice de concentración (IC) para la cuenca del Mantaro.

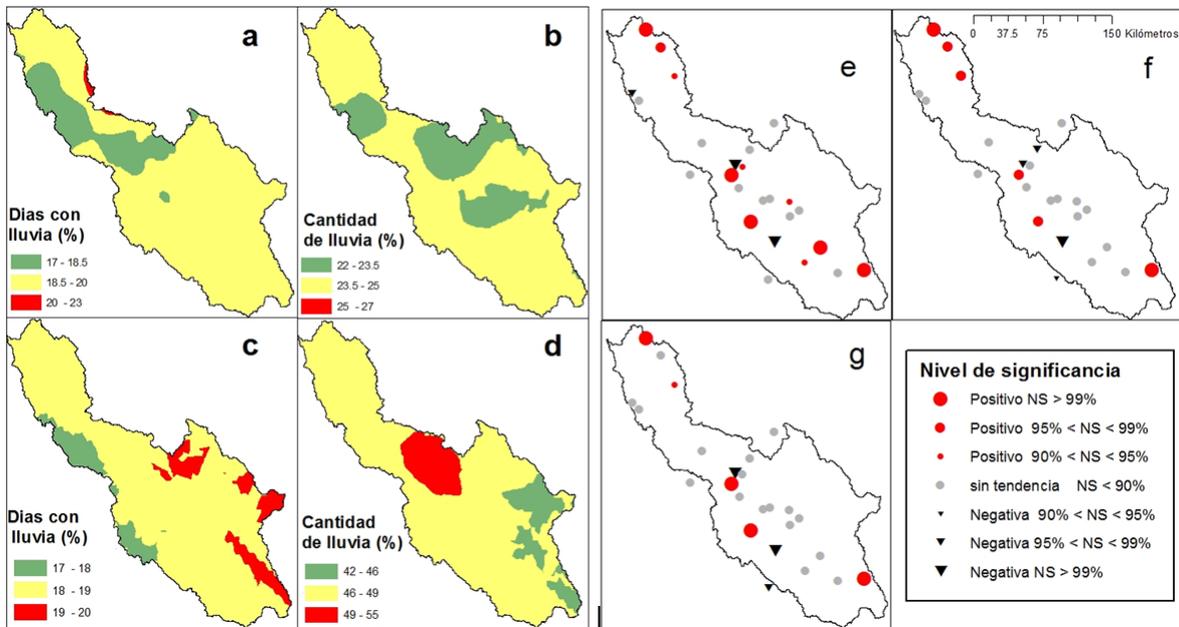


Fig 3. Contribución de días con lluvia y cantidad de lluvia para eventos de intensidad a y b) alta y c-d) muy alta. Tendencias de índices de concentración para periodos de e) enero-marzo, f) mayo-agosto, g) octubre-diciembre.