

Tendencia de la precipitación estacional e influencia de El Niño-Oscilación Austral sobre la ocurrencia de extremos pluviométricos en la cuenca del lago de Valencia, Venezuela

• Franklin Paredes-Trejo* •

Universidad de Los Llanos Ezequiel Zamora, San Carlos-Cojedes, Venezuela

*Autor de correspondencia

• Edilberto Guevara-Pérez •

Universidad de Carabobo, Valencia-Carabobo, Venezuela

• Humberto Barbosa-Alves • Carlos Uzcátegui-Briceño •

Universidad Federal de Alagoas-LAPIS, Maceió-Alagoas, Brasil

Resumen

Paredes-Trejo, F., Guevara-Pérez, E., Barbosa-Alves, H., & Uzcátegui-Briceño, C. (noviembre-diciembre, 2015). Tendencia de la precipitación estacional e influencia de El Niño – Oscilación Austral sobre la ocurrencia de extremos pluviométricos en la cuenca del lago de Valencia-Venezuela. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(6), 33-48.

La cuenca del lago de Valencia (CELV) es la cuenca endorreica de mayor tamaño en Venezuela. Por su elevada densidad poblacional e industrial es susceptible a los extremos pluviométricos. Se sabe que el fenómeno ENOA (El Niño-Oscilación Austral) modula las lluvias en el territorio venezolano, pero no se ha explorado su incidencia en detalle en la CELV. En este estudio se analiza la tendencia espacial y temporal de la precipitación estacional y se explora la asociación entre la ocurrencia de meses con extremos pluviométricos y las fases de ENOA (El Niño, La Niña, neutro) en la CELV. Se seleccionaron ocho estaciones climáticas con buena calidad de registros. Los periodos 1934-2005 y 1966-1992 se adoptan para los análisis a escalas local y regional. Se identificaron los meses de la temporada seca y húmeda. En cada estación se calculó la precipitación acumulada estacional y se evaluó su tendencia de largo plazo utilizando la prueba de Mann-Kendall. Se categorizó la precipitación mensual local y estacional en extrema seca (ES), no extrema (NE) y extrema húmeda (EH), usando como umbrales los percentiles 10 y 90. Se analizó la ocurrencia probabilística espacial y simultaneidad de un mes ES, NE y EH, según la temporada y fases de ENOA. La asociación entre ENOA y la precipitación estacional se explora con una prueba Chi-Cuadrado. Se encontró lo siguiente: no existen tendencias locales de largo plazo en la precipitación total estacional; la ocurrencia de extremos pluviométricos estacionales está parcialmente asociada con los eventos El Niño/La Niña; la incidencia de extremos pluviométricos podría estar vinculada con factores climáticos locales.

Palabras clave: El Niño-Oscilación Austral, lago de Valencia, cambio climático, extremos pluviométricos

Abstract

Paredes-Trejo, F., Guevara-Pérez, E., Barbosa-Alves, H., & Uzcátegui-Briceño, C. (November-December, 2015). Seasonal Trend of the Rainfall and the Influence of El Niño-Southern Oscillation on the Occurrence of Extreme Rainfalls at the Watershed of Valencia's Lake, Venezuela. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 6(6), 33-48.

The Valencia lake basin is the endorheic watershed larger of Venezuela (VLB). VLB is densely populated and industrialized; therefore the extreme climate events can cause severe impacts. In the Venezuelan territory, it is known that ENSO (El Niño-Southern Oscillation) can modulate the rainfalls, however no has been explored in detail as ENSO can affect the rainfalls on VLB. This study analyzes the spatio-temporal trends of the seasonal rainfalls and explores the association between the occurrence of extreme rainfall months and the phases of ENSO (El Niño, La Niña and Neutral) on VLB. Eight stations were selected by the quality control of their registers. We considered two periods for our analysis: 1934-2005 (local scale) and 1966-1992 (regional-local scale). In addition, we identified the months of occurrence of the rainy and dry seasons. The accumulated rainfall by season in each station was calculated and after was explored the occurrence of a long-term trend by Mann-Kendall test. Seasonal precipitation in each station and season was categorized in extreme dry, extreme-no, or extreme wet (ED, EN and EW) using the 10th and 90th percentiles as threshold. The likelihood of occurrence of a month ED, EN or EW at local scale according to season and phase of ENSO was estimated. The association between these categorical variables was analyzed by chi-square test for independence. The results more remarkable were: there is no evidence of a long-term trend at local scale on seasonal precipitation; the Niño/Niña episodes are partially associated with the occurrence of extreme rainfall at seasonal scale; a high-proportion of the extreme rainfall events could have been driven by local factors which were not evaluated here.

Keywords: Valencia's Lake, El Niño-Southern Oscillation, climate change, extreme rainfall.

Recibido: 22/10/2013

Aceptado: 05/08/2015

Introducción

En el *Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* se indicó que entre los años 1900 y 2000, la precipitación anual aumentó de forma notable en la región ubicada al norte de América del Sur (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2007). En esa región, el fenómeno meteorológico El Niño-Oscilación Austral o ENSO (ENOA) es uno de los componentes del sistema climático global que más influye sobre la variabilidad pluviométrica (Arntz & Fahrbach, 1991; Giddings & Soto, 2006). ENOA ha sido ampliamente relacionado con los impactos climáticos más importantes ocurridos en Centroamérica, México y el Cono Sur (Banco Mundial-Naciones Unidas, 2001; Comisión Europea, 2009). Esta influencia se extiende a los países situados dentro y en la periferia de las cuencas del Pacífico e Índico (Allan, Lindesay, & Parker, 2000), el Trópico y ciertas regiones extra-tropicales de Norteamérica (Magaña & Ambrizzi, 2005; PNUMA-CEPAL, 2010).

Venezuela es un país tropical situado en el extremo norte de Sudamérica (~ 1-12° N, 60-74° O), con la precipitación sobre este territorio principalmente modulada por la actividad y ubicación de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), en la cual confluyen los vientos alisios del noreste y del sudeste, estructurando un subsistema de baja presión que se desplaza en sentido meridional (Goldbrunner, 1984; Pulwarty, Barry, Hurst, Sellinger, & Mogollon, 1998). La ZCIT es parte del sistema climático global; por tanto, responde rápidamente a las variaciones en la circulación atmosférica tropical (Martelo, 2003a). En el contexto espacial, la precipitación es heterogénea debido al control que ejercen las barreras orográficas sobre los vientos de superficie (Insel, Poulsen, & Ehlers, 2010). Mientras que en el contexto temporal, varios modos de variación han sido identificados en las series de precipitación disponibles (Winemiller, 1990). A escala decadal, por ejemplo, Martelo (2003b) notó que los promedios pluviométricos revelaban la ocurrencia de un patrón débil-

mente alternante; así, en la década 1951-1960 prevaleció una condición normal; 1961-1970 fue lluviosa; 1971-1980, seca; 1981-1990, lluviosa, y la década incompleta 1991-1998, seca.

La variabilidad pluviométrica sobre el territorio venezolano en el contexto temporal puede ser modulada por las fases de ENOA tanto cálida o El Niño como fría o La Niña (Pulwarty, Barry, & Riehl, 1992; Cárdenas, García, & Gil, 2002; Paredes, Guevara, Uzcategui, & Garbi, 2008). El efecto de ENOA sobre el territorio venezolano no es homogéneo (CNMeH-CONICIT, 1998); así, en las regiones de Guayana y occidente, El Niño tiende a propiciar la ocurrencia de veranos más secos que lo normal y un retardo en el inicio de la temporada lluviosa; mientras que en las regiones central, llanera y oriental, la influencia es mucho menos evidente, encontrándose casos en los que los años El Niño coinciden con inicios de temporada de lluvia temprana, normal o tardía. En contraste, un ENOA neutro, es decir, océano Pacífico con condiciones térmicas superficiales cercanas al promedio histórico, suele coincidir con un inicio temprano de la temporada lluviosa. Cabe destacar que en Guayana, La Niña se asocia con temporadas secas más lluviosas de lo normal y por tanto la ocurrencia de caudales relativamente altos en el río Caroní, mientras que en los Llanos se vincula con una entrada tardía de la temporada de lluvias (Rogers, 1998; Martelo, 2003b).

A gran escala, la influencia de ENOA sobre el régimen de las precipitaciones en el territorio venezolano ha sido ampliamente estudiada por Caviedes (1998), Cárdenas y De Grazy (2003), Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables (2007), y Rollenbeck y Anhufo (2007); sin embargo, las principales características espaciales y temporales de esta modulación sólo se han analizado en suficiente detalle en algunas regiones del país (Guevara & Paredes, 2007; Pierre & Tirado, 2007; Pérez, 2012). Una de las regiones donde no se conoce muy bien la incidencia de ENOA sobre la precipitación es la cuenca del lago de Valencia. El relieve dominante en esta cuenca incrementa la vulnerabilidad ante la ocurrencia de extremos pluviométricos.

En lo sucesivo, el término extremo pluviométrico se refiere a un episodio anómalamente seco o húmedo, con una persistencia de al menos dos meses consecutivos.

El lago de Valencia es el cuerpo de agua dulce endorreico más grande de Venezuela (Díaz, 2006), ocupa una depresión tectónica denominada Graben de Valencia entre la Cordillera de la Costa al norte y la Serranía del Interior al sur (Bradbury *et al.*, 1981). Está rodeado por una región altamente industrializada y densamente poblada (Sequera, 1994). A grandes rasgos, los suelos son destinados a actividades agrícola (34%), urbana (18%) e industrial (3%). El cuerpo de agua del lago tiene 359 km² de superficie, 6.30 km³ de volumen y 18 m de profundidad, al cual tributan 18 subcuencas (Guevara & Márquez, 2012; Dourojeanni, Jouravlev, & Chávez, 2002). Los ríos con régimen permanente son Güey, El Limón, Las Delicias, Turmero, Aragua, Cabriales, Los Guayos, Nepe y Guacara, junto al Caño Central y los canales Papelera, Sudantex y Corpindustria (Filippone, 1999). El escurrimiento superficial medio hacia el lago es de 9 m³/s durante la temporada seca y de 19 m³/s durante el periodo húmedo (Guevara, Guevara, & García, 2008).

Durante la última década, el nivel del lago de Valencia ha aumentado en forma sostenida debido al transvase desde los embalses Pao Cachinche y Pao La Balsa, que alimenta el Sistema Regional del Centro I (principal acueducto del eje Valencia-Maracay); el desvío del río Cabriales en el año 1979 hacia el lago, y el vertido continuo de aguas servidas urbanas e industriales. Entre 1995 y 2000, el nivel de ascenso del espejo de agua del lago subió a una velocidad media de 0.40 m/año, alcanzando un máximo relativo de 413.36 msnm en el año 2012 (Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables, 2007). Durante la temporada de lluvias del año 2013, la Comisión de Saneamiento y Control de Nivel del Lago de Valencia (dependencia gubernamental) reportó la ocurrencia de una cota cercana a los 414 msnm y varios impactos de importancia: inundación parcial de algunos sectores situados al sur del municipio Girardot

del estado Aragua, como Mata Redonda y La Punta; interrupción temporal del acceso vial a la Isla La Culebra, y anegamiento permanente de las bases del tramo vial Valencia-Güigüe, entre otros.

La vocación agrícola de la cuenca del lago de Valencia, especialmente en las tierras bajas, la hace muy vulnerable a los episodios secos persistentes. Por ejemplo, algunos cultivos de secano como sorgo industrial, hortalizas, frutas y cítricos merman sus rendimientos durante la ausencia prolongada de lluvias, lo que afecta al sector agrícola de la región (Marín, 2002).

En las referencias se encuentran estudios que caracterizan la distribución espacial de las lluvias en la cuenca del lago de Valencia (Guevara *et al.*, 2008); otros que estiman algunos parámetros hidrológicos relevantes (Ascenzi, Mora, & Pino, 2007) y que evalúan bajo un enfoque probabilístico la precipitación anual y estacional (Paredes *et al.*, 2013). Sin embargo, se desconoce si la precipitación en la cuenca ha aumentado o disminuido en el tiempo; tampoco se sabe si las temporadas anómalamente secas o húmedas están asociadas con las fases de ENOA o si los extremos pluviométricos tienden a ser más frecuentes. Por ello, el propósito de esta investigación es la de explorar la influencia del fenómeno meteorológico ENOA sobre los extremos pluviométricos en la mencionada cuenca. En el estudio se plantean dos objetivos relacionados con el análisis de las series pluviométricas mensuales disponibles en un conjunto de estaciones situadas dentro de la cuenca: a) analizar la tendencia de largo plazo del acumulado pluviométrico estacional, y b) analizar la vinculación entre las fases de ENOA y los extremos pluviométricos estacionales bajo un enfoque probabilístico.

Metodología

Área de estudio

La cuenca del lago de Valencia se ubica en la Región Central de Venezuela. Cubre una superficie de 2 943 km², distribuida entre los estados

Carabobo (53.13%) y Aragua (46.87%). Se extiende entre las latitudes norte $9^{\circ} 55' 4.26''$ y $10^{\circ} 24' 41.74''$, longitudes oeste $-68^{\circ} 4' 21.2''$ a $-67^{\circ} 16' 30.15''$, como se aprecia en la figura 1. Tiene un rango hipsométrico que va de 426 msnm (nivel medio del lago) a 2 439 msnm (Pico Codazzi).

Registros pluviométricos

Se usaron las series pluviométricas mensuales de las estaciones climáticas localizadas en el área de estudio y administradas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (<http://www.inameh.gob.ve/>). Se seleccionaron las series que cuentan con una longitud de registro mensual (LRM) igual o mayor que 30 años. Con base en este criterio se eligieron la serie de registros de ocho estaciones pluviométricas con $31 \text{ años} \leq \text{LRM} \leq 59 \text{ años}$, con las siguientes características: registros discontinuos, extensión media de 42.50 años y mediana de la extensión

de 42.50 años. Estos periodos se enmarcan en una ventana temporal discontinua que va desde el año 1934 hasta el año 2005. En lo sucesivo, a este grupo se denomina muestra.

Fases del procedimiento

1. Evaluación de la calidad de las series. En la muestra, la estacionariedad se evaluó utilizando el estadístico t (criterio de aceptación, $p \leq 0.05$), tomando como variable de análisis la pendiente de la recta que relaciona la precipitación anual y el tiempo en años; la autocorrelación serial se evaluó con la prueba de Durbin-Watson (Fox, 2008); los años no homogéneos se detectaron con la prueba de Easterling-Peterson (Buishand, 1982). Las ocho series de registros pluviométricos usados pasaron las pruebas mencionadas y, por tanto, se usaron en los análisis posteriores (figura 1).

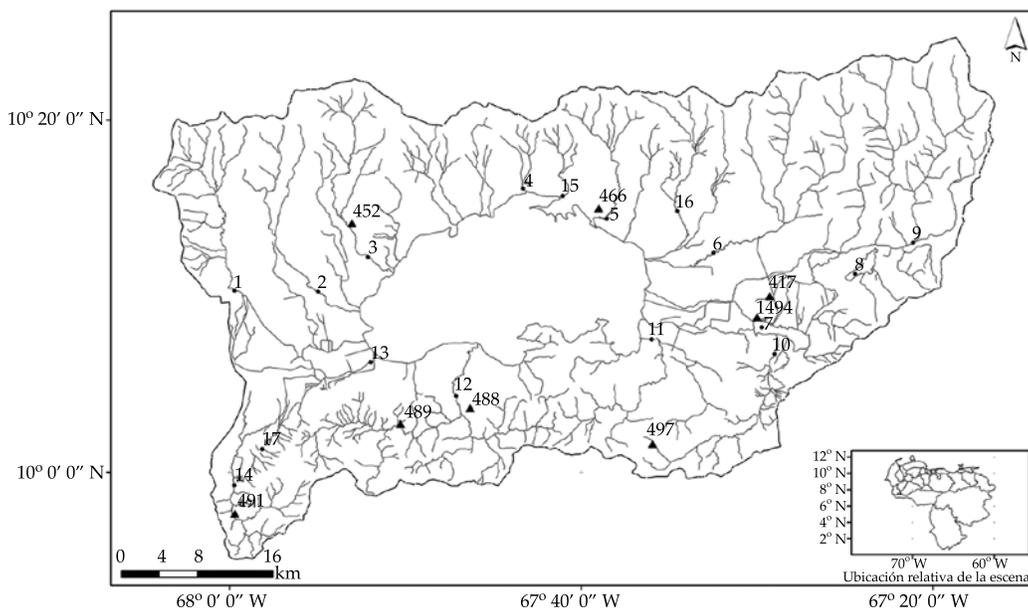


Figura 1. Cuenca del lago de Valencia. Nota: 1, río Cabriales; 2, río Los Guayos; 3, río Guacara; 4, río Mariara; 5, río Tapatapa; 6, río Turmero; 7, laguna de Taguayguay; 8, embalse Zuata; 9, río Aragua; 10, río Las Minas; 11, río Tocorón; 12, río Güügüey; 13, Caño Central; 14, río Las Dos Bocas; 15, quebrada Honda; 16, río Maracay; 17, Dique Las Delicias. Los triángulos señalan la ubicación de las ocho estaciones usadas; el número es el serial de la estación, según la nomenclatura del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología venezolano.

- 2) Análisis de la tendencia anual en los montos pluviométricos estacionales. En principio se identificaron los meses de inicio y finalización de las temporadas húmeda y seca, tomando como criterio el signo del coeficiente pluviométrico a escala mensual (Carillo, 1999), resultando: noviembre-abril, temporada seca; mayo-octubre, temporada húmeda. En un año se consideró que la temporada seca va de enero hasta abril para evitar el solapamiento de años consecutivos. Se determinó en cada serie y año la precipitación de la temporada (PT), el coeficiente de variación de la PT, monto y año de ocurrencia de la PT máxima y mínima. Bajo este enfoque, PT es la lluvia acumulada anual durante la temporada analizada (seca o húmeda). Por último, se aplicó la prueba de Mann-Kendall basada en rangos (Kendall, 1975), para identificar tendencias de largo plazo estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en la PT. Las variables PT durante las temporadas seca y húmeda fueron mapeadas para identificar la ocurrencia de algún patrón espacial.
- 3) Análisis temporal de las anomalías pluviométricas extremas estacionales. Se calculó el periodo común de registros entre las series que conforman la muestra, resultando 1966-1992. En cada serie se transformó la precipitación mensual (P_{ij}) en anomalía mensual (a_{ij}); para ello se calcularon los percentiles 10 (P_{10}) y 90 (P_{90}) de cada mes i ($i = 1 \dots 12$), considerando todos los años j del periodo común ($j = 1966 \dots 1992$), luego se codificó cada observación como sigue: si $P_{ij} \leq P_{10} \rightarrow a_{ij} = -1$ (mes extremo seco o ES); si $P_{ij} \geq P_{90} \rightarrow a_{ij} = +1$ (mes extremo húmedo o EH); si $P_{10} < P_{ij} < P_{90} \rightarrow a_{ij} = 0$ (mes no extremo o NE). Se evaluó la tendencia estacional de los meses extremos (ES, EH), aplicando la prueba de Mann-Kendall al vector resultante de parrear, por separado, el número de meses ES y EH con los años disponibles. Las tendencias estacionales (pendientes) fueron mapeadas para identificar la ocurrencia de algún patrón espacial.
- 4) Relación probabilística entre los niveles pluviométricos estacionales en cada estación y las fases de ENOA. Se calculó la probabilidad mensual de ocurrencia de un mes ES, EH y NE en cada estación, temporada y fase ENOA. La fase de ENOA que prevaleció en un mes determinado se tomó de la categorización de ENOA disponible en el portal web del Centro de Predicción Climática de la Agencia Nacional del Océano y Atmósfera de los Estados Unidos (www.cpc.ncep.noaa.gov). Dado que la precipitación estacional en cada estación y las fases ENOA son analizadas como factores, se estructuró una tabla de contingencia de dos vías, sobre la cual se aplicó una prueba χ^2 para evaluar la asociación entre ambas variables categóricas a un nivel de confianza de 95% (Greenwood & Nikulin, 1996). Para estimar de modo indirecto la cobertura espacial promedio de los meses ES, EH y NE en cada temporada durante el periodo 1966-1992, se calculó el promedio porcentual de estaciones que mostraron un mes ES, EH y NE en cada año y temporada; este resultado fue agrupado por fase ENOA observada, para evaluar la asociación entre estas variables.

Herramientas computacionales utilizadas en los análisis

La calidad de las series se evaluó con el *software Anclim* (Štěpánek, 2008). La conversión de las series mensuales pluviométricas a anomalías, el análisis probabilístico y estadístico fueron realizados en ambiente *R v. 3.2.1*. El mapeado se hizo con *SAGA-GIS 2.1.4TM*.

Resultados

Tendencia de los montos pluviométricos estacionales en el periodo no común 1934-2005

Las series pluviométricas analizadas tienen diferentes fechas de inicio y fin dentro de la ventana temporal 1934-2005. El análisis de cada serie por separado, considerado todos sus regis-

tros, arrojó lo siguiente: la precipitación media regional durante la temporada seca (enero-abril) es igual a 86.75 mm (cuadro 1); el mínimo y máximo local ocurren en Maracay (50.17 mm) y Las Dos Bocas (141.75 mm), respectivamente. El coeficiente de variación regional promedio es 76.14%, variando de 62.22% en Las Dos Bocas a 86.95% en Maracay. Durante la temporada húmeda (mayo-octubre), el promedio regional de precipitación es igual a 873.12 mm, con un mínimo y máximo local, ubicados en Las Cenizas (715.67 mm) y Las Dos Bocas (1234.87 mm), respectivamente (figura 1); el coeficiente de variación regional promedio es de 20.13%; las tendencias de la precipitación en las temporadas húmeda y seca (expresadas como mm/año) fueron estadísticamente no significativas en todas las estaciones ($p \leq 0.05$).

Tendencia de las anomalías pluviométricas extremas estacionales en el periodo común 1966-1992

El cuadro 2 muestra la tendencia anual de ocurrencia de meses extremos en las temporadas secas y húmedas para el periodo 1966-1992. En general, durante la temporada seca (enero-abril), la tendencia de mayor magnitud en el grupo de meses extremos secos (ES) ocurre en Las Cenizas (0.046 eventos ES/año); en el grupo de meses extremos húmedos (EH) se observa en Santa Cruz (-0.020 eventos EH/año) y Guacara (-0.020 eventos EH/año). En cuanto a la temporada seca, el grupo de ES promedia

0.026 eventos ES/año; en el grupo de EH, -0.009 eventos EH/año. Entre mayo y octubre (temporada húmeda), la tendencia de mayor magnitud en el grupo de ES se registró en la Colonia El Trompillo (-0.032 eventos ES/año); en el grupo de EH ocurrió en Guacara (-0.038 eventos EH/año). Globalizando, el grupo de ES muestra, en promedio, -0.003 eventos ES/año; mientras que el grupo de EH, -0.006 eventos EH/año. Ninguna de estas tendencias resultó estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

Característica espacial y temporal de los extremos pluviométricos estacionales según la fase de ENOA prevaleciente durante el periodo 1966-1992

El cuadro 3 muestra la probabilidad ocurrencia de un mes ES, EH o NE durante las temporadas seca y húmeda (mayo-octubre) para cada estación dentro de la cuenca del lago de Valencia en el periodo 1966-1992. A manera de ejemplo, cuando está presente un episodio El Niño a lo largo de la temporada seca (enero-abril), la estación 417 registró una probabilidad de ocurrencia de un mes ES, NE y EH igual que 31, 56 y 13%, respectivamente. Ante un episodio La Niña, estas probabilidades son de 13, 71 y 17%, respectivamente. Mientras que en la fase neutra de ENOA se dan valores de 28, 63 y 9%, respectivamente. La asociación entre ENOA y los niveles pluviométricos (ES, NE y EH) en la temporada seca resulta estadísticamente significativa sólo en las estaciones 489 y 491 (p

Cuadro 1. Montos pluviométricos estacionales. Periodo no común 1934-2005.

Serial	Locación	Periodo (años)	Estación seca (P(mm)/CV(%))	Estación húmeda (P(mm)/CV(%))
417	Santa Cruz	1966-1999	70.36/72.95	840.09/19.81
452	Guacara	1949-1993	70.66/78.30	782.18/19.51
466	Maracay	1934-1992	50.17/86.95	774.42/22.12
488	Colonia El Trompillo	1960-2005	79.52/86.09	858.49/24.42
489	Agua Blanca	1934-2005	119.69/73.74	1 014.78/22.52
491	Las Dos Bocas	1949-2005	141.75/62.22	1 231.88/13.38
497	Las Cenizas	1960-2003	91.19/73.59	715.67/22.71
1494	Embalse Taiguaguay	1951-1999	70.63/75.31	766.60/16.58

Cuadro 2. Tendencia anual de ocurrencia de meses extremos en las temporadas secas y húmedas. Periodo común 1966-1992.

Serial	Locación	Temporada seca (ES/EH) (eventos/año)	Temporada húmeda (ES/EH) (eventos/año)
417	Santa Cruz	0.0031 / -0.0195	0.0024 / -0.0122
452	Guacara	0.0250 / -0.0195	-0.0171 / 0.0379
466	Maracay	0.0269 / -0.0006	-0.0073 / 0.0214
488	Colonia El Trompillo	0.0140 / -0.0183	-0.0324 / 0.0024
489	Agua Blanca	0.0379 / 0.0018	0.0098 / 0.0244
491	Las Dos Bocas	-0.0037 / 0.0122	0.0116 / -0.0018
497	Las Cenizas	0.0458 / -0.0073	0.0037 / -0.0092
1494	Embalse Taiguaguay	0.0317 / -0.0183	0.0031 / -0.0183

Nota: ES, mes extremo seco; EH, mes extremo húmedo.

≤ 0.05), ambas localizadas en la zona media-alta de la cuenca y en el flanco sur del lago (figura 2). Durante la temporada húmeda (mayo-octubre), sólo en la estación 1494, la prueba de independencia basada en el estadístico χ^2 sugiere una asociación entre la actividad de ENOA y la precipitación estacional (cuadro 4).

El cuadro 3 muestra la asociación cuantitativa entre las fases de ENOA (neutro, El Niño, La Niña) y la señal pluviométrica dominante en cada estación y temporada (ES, EH o NE) bajo un enfoque probabilístico, pero no brinda información sobre la extensión espacial de estos eventos a escala estacional. La figura 3 compensa esta limitación debido a que muestra el promedio regional porcentual de estaciones en los que se observó un mes ES, EH o NE durante las temporadas seca (enero-abril) y húmeda (mayo-octubre) a lo largo del periodo 1966-1992, junto a la fase ENOA registrada durante cada temporada (neutro, El Niño, La Niña).

Un promedio porcentual alto en el nivel ES, EH o NE indica que esta señal predominó en el grupo de estaciones. Por ejemplo, la figura 3 revela que en la temporada húmeda del año 1973 (panel b), cerca de 70% de las estaciones tienen un mes ES junto a una condición La Niña (condición seca generalizada); mientras que en la temporada seca del año 1981 (panel a), alrededor de 63% de las estaciones muestra un mes EH acoplado a una condición ENOA neutra (condición húmeda generalizada).

Discusión

Tendencia de los montos pluviométricos estacionales en el periodo analizado

Desde el punto de vista espacial, los montos pluviométricos estacionales tienden a disminuir conforme aumenta la cercanía al lago de Valencia y el terreno se hace plano (cuadro 1; figura 2). Los valores más bajos se observan en las planicies situadas al sur de la Troncal 5 (tramo Los Guayos-Maracay) y al norte de la intercomunal Flor Amarilla-Magdaleno (flanco sur del lago). Los más altos se dan en el extremo suroeste (Cerro Las Dos Bocas).

Los registros eólicos de las estación Naguanagua ($10^{\circ} 14' 58''$ N y $68^{\circ} 1' 0''$ O), situada en un extenso valle bordeado por las Filas, La Guacamaya y Orégano (ambas alineadas en sentido norte-sur), muestra una interesante característica: los vientos de superficie durante la temporada seca provienen, en orden de ocurrencia, del NO, NNO y ONO, con una velocidad promedio de 16.2 km/h. En la temporada húmeda aminoran su velocidad hasta unos 10 km/h y cambian su dirección hacia el NO, ENE y SO (en orden de ocurrencia). En este punto, cabe destacar que sobre el territorio venezolano, el flujo eólico superficial a gran escala y a lo largo del año tiene direcciones prevaletientes E, ENE y NE debido a la influencia de los alisios sobre el norte de Sudamérica (González-Longatt, 2015). Sin embar-

Cuadro 3. Probabilidad de ocurrencia de un mes extremo seco (ES), no extremo (NE) o extremo húmedo (EH) durante las temporadas seca y húmeda en las estaciones de la cuenca del lago de Valencia de acuerdo con la fase ENOA observada (neutro, El Niño, La Niña). Periodo común 1966-1992. La probabilidad de ocurrencia se expresa como una fracción unitaria.

	Temporada seca (enero-abril)			Temporada húmeda (mayo-octubre)		
	Serial: 417			Serial: 417		
Condición	ES	NE	EH	ES	NE	EH
Neutro	0.28	0.63	0.09	0.11	0.77	0.11
El Niño	0.31	0.56	0.13	0.08	0.75	0.17
La Niña	0.13	0.71	0.17	0.17	0.79	0.04
	Serial: 452			Serial: 452		
Condición	ES	NE	EH	ES	NE	EH
Neutro	0.33	0.53	0.14	0.10	0.80	0.09
El Niño	0.25	0.65	0.10	0.10	0.80	0.10
La Niña	0.42	0.54	0.04	0.14	0.69	0.17
	Serial: 466			Serial: 466		
Condición	ES	NE	EH	ES	NE	EH
Neutro	0.48	0.39	0.13	0.09	0.78	0.13
El Niño	0.35	0.55	0.10	0.23	0.70	0.07
La Niña	0.25	0.67	0.08	0.06	0.83	0.11
	Serial: 488			Serial: 488		
Condición	ES	NE	EH	ES	NE	EH
Neutro	0.20	0.67	0.13	0.13	0.78	0.09
El Niño	0.25	0.65	0.10	0.10	0.80	0.10
La Niña	0.21	0.71	0.08	0.08	0.75	0.17
	Serial: 489*			Serial: 489		
Condición	ES	NE	EH	ES	NE	EH
Neutro	0.13	0.73	0.14	0.11	0.78	0.10
El Niño	0.35	0.50	0.15	0.07	0.80	0.13
La Niña	0.13	0.88	0.00	0.14	0.75	0.11
	Serial: 491*			Serial: 491		
Condición	ES	NE	EH	ES	NE	EH
Neutro	0.20	0.63	0.17	0.11	0.77	0.11
El Niño	0.05	0.95	0.00	0.10	0.77	0.13
La Niña	0.17	0.79	0.04	0.11	0.81	0.08
	Serial: 497			Serial: 497		
Condición	ES	NE	EH	ES	NE	EH
Neutro	0.16	0.70	0.14	0.07	0.80	0.13
El Niño	0.40	0.50	0.10	0.20	0.77	0.03
La Niña	0.25	0.71	0.04	0.14	0.72	0.14
	Serial: 1494			Serial: 1494 *		
Condición	ES	NE	EH	ES	NE	EH
Neutro	0.27	0.63	0.11	0.07	0.84	0.08
El Niño	0.35	0.55	0.10	0.20	0.77	0.03
La Niña	0.25	0.63	0.13	0.14	0.61	0.25

Nota: *la ocurrencia de un mes extremo seco, no extremo o extremo húmedo en la estación indicada no es independiente de las condiciones ENOA, con un nivel de confianza de 95%.

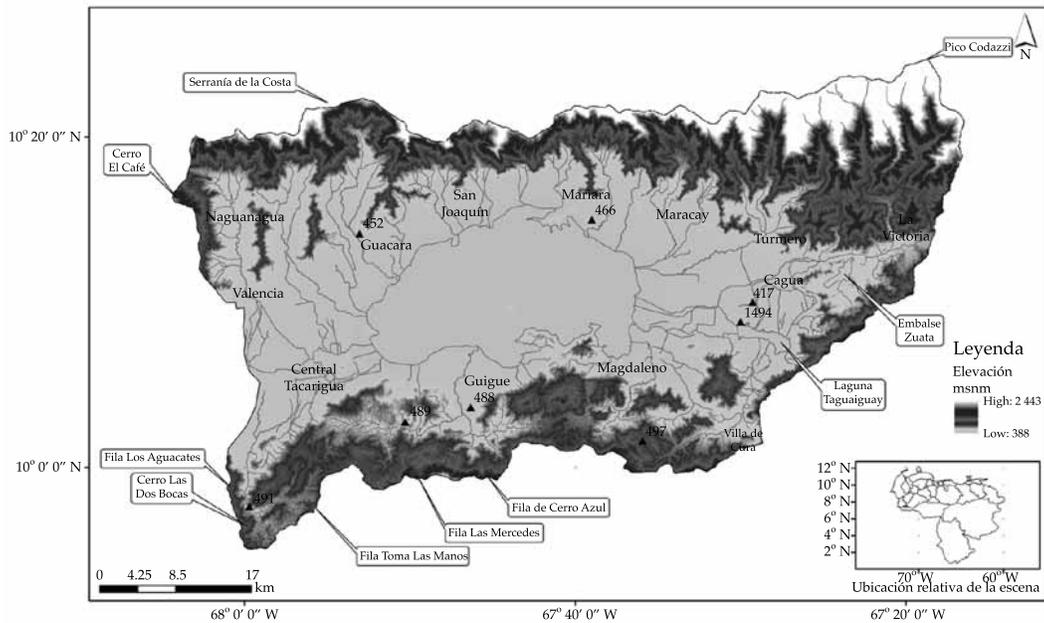


Figura 2. Modelo digital de elevación de la cuenca del lago de Valencia. Nota: los triángulos señalan la ubicación de las ocho estaciones usadas; el número es el serial de la estación, según la nomenclatura del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

go, estas direcciones suelen ser poco frecuentes en los valles intermontanos profundos debido a que el flujo eólico es reorientado (Golbrunner, 1984; Foghin-Pillin, 2002). La diferencia entre los patrones eólicos dominantes durante las temporadas seca y húmeda, observada en la estación Naguanagua, sugiere que las barreras orográficas encauzan las corrientes de aire hacia el fondo de los valles, donde interactúan con las circulaciones eólicas locales (sistema lago-brisas del valle-montaña), favoreciendo o inhibiendo la formación de lluvias, según la dirección del flujo dominante y su contenido de humedad. El control que ejerce la orografía sobre la distribución de las lluvias en las cuencas de montañas ha sido bien documentado (Beniston, Diaz, & Bradley, 1997; Guan, Huang-Hsiung, Makhnin, Xied, & Wilson, 2009; Brito *et al.*, 2010)

Dentro de la cuenca del lago de Valencia se distinguen dos núcleos húmedos que permanecen en esa condición durante las temporadas seca y húmeda. Uno de ellos se localiza en el

río Las Dos Bocas, entre las Filas, Los Aguacates y Toma Las Manos; una región montañosa ubicada al suroeste de la cuenca (figura 2). El segundo núcleo se sitúa al noreste de la línea divisoria entre las cuencas del lago de Valencia y el río Chuao (lugar denominado Topo El Guayabo). El primero de estos núcleos fue notado previamente por Paredes *et al.* (2013), quienes advirtieron el carácter permanente de su pluviosidad a lo largo del año. Estos núcleos tienen en común el hecho de estar al fondo de valles estrechos, flanqueados por altas montañas, y próximos al parteaguas o divisoria. La figura 2 revela que la cuenca presenta una amplia red de profundos valles al norte y sur del lago, por donde el viento de superficie podría ser canalizado desde el lago (subsistema climático local) o cuencas hidrográficas vecinas hacia la zona más elevada. En esta circunstancia, las corrientes de aire ascenderían y enfriarían progresivamente hasta alcanzar el nivel de condensación sobre la vertiente ascendente (ladera Barlovento), fa-

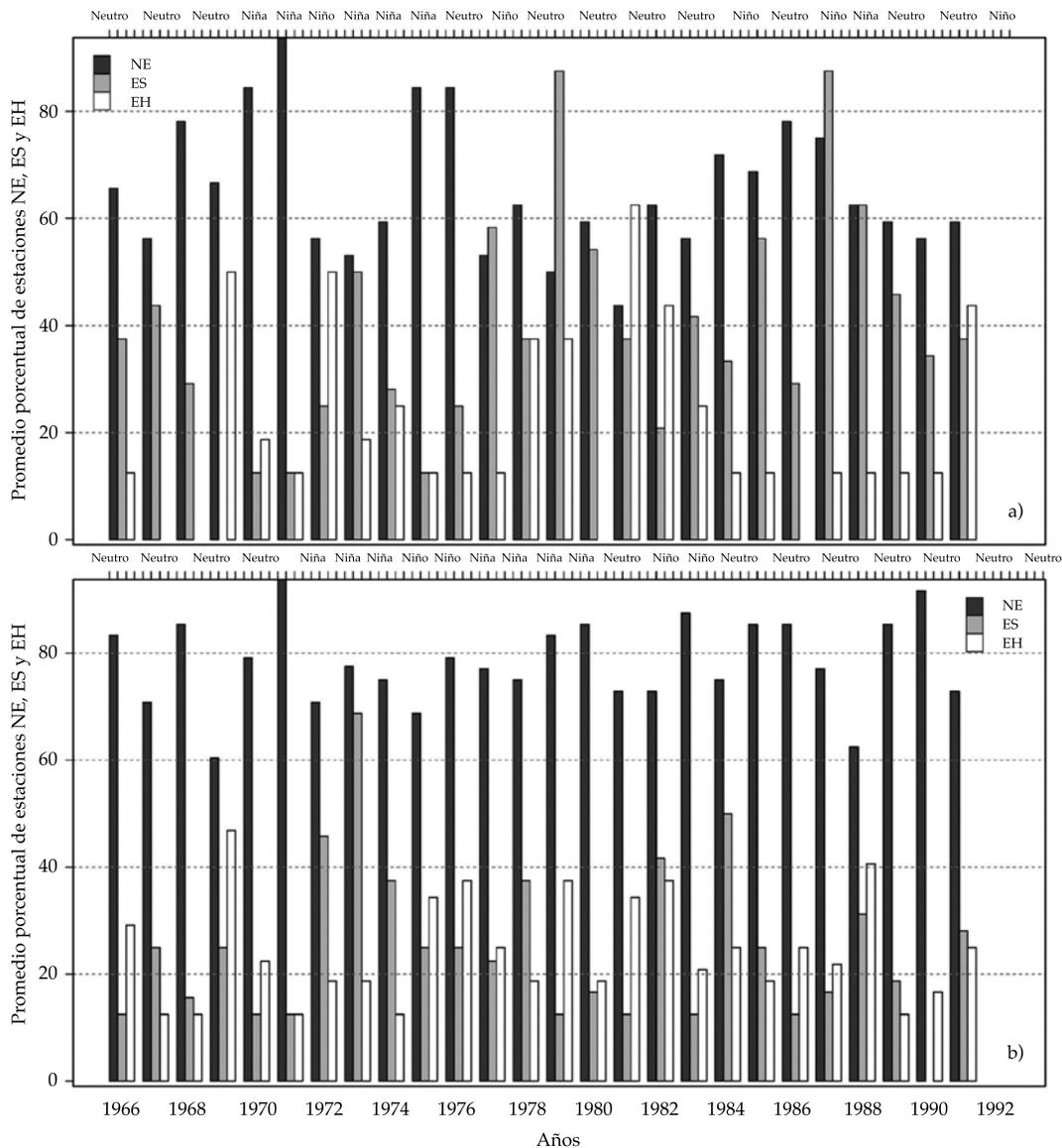


Figura 3. Promedio regional de ocurrencia de un mes extremo seco (ES), no extremo (NE) y extremo húmedo (EH) durante las temporadas de seca (panel a) y húmeda (panel b) en la cuenca del lago de Valencia en el periodo 1966-1992. En el eje superior de cada panel se indica la fase ENOA observada (neutro, El Niño o La Niña). Nota: el año 1992 fue omitido porque las estaciones tienen datos faltantes en las temporadas seca y húmeda.

voreciendo la formación de nubes generadoras de lluvias. Este hipotético mecanismo permite explicar los altos valores de precipitación estacional y su persistencia en Las Dos Bocas y Topo El Guayabo. Bajo este enfoque, el viento superficial que llega a Las Dos Bocas es probable

que ingrese siguiendo la ruta Pirital-Boquerón-El Guayal (corredor intramontano).

En el contexto temporal, la evidencia observacional para los periodos 1934-2005 y 1966-1992 no indica la ocurrencia de una disminución o aumento sostenido en los totales pluviométricos.

cos estacionales extremos (cuadro 2). En general, esto sugiere que las variaciones pluviométricas estacionales en la cuenca del lago de Valencia en estos periodos fueron temporalmente estacionarias, aunque es evidente que la distribución espacial de las lluvias es controlada en gran medida por la orografía.

El contraste de la figura 1, y los cuadros 1 y 2 revela que durante la temporada seca se da un ligero incremento en la ocurrencia de meses ES en la cuenca alta del río Las Minas (tributario de la laguna de Taguaguay), y una leve disminución de meses EH en las nacientes del río Guacara y en el suroeste de Cagua (llanuras del río Aragua). Mientras que en la temporada húmeda se nota una sutil disminución en la ocurrencia de meses ES en la cuenca media del río Güigüe y meses EH en las nacientes del río Guacara. La mayoría de estas locaciones tiene como factor común estar ubicada a media altitud y relativamente próxima a la divisoria hidrográfica. Debe tenerse en cuenta que estas tendencias no son estadísticamente significativas (cuadro 2); sin embargo, sugieren que el aporte pluviométrico en la zona montañosa es ligeramente más susceptible a presentar variaciones estacionales que su contraparte baja. Este sutil rasgo sugiere que el lago podría ser la principal fuente de humedad para la formación de lluvias en la parte baja de la cuenca, en particular durante la temporada seca. Es importante destacar que es poco probable que los alisios que llegan a la cuenca del lago de Valencia estén cargados de abundante humedad, pues deben cruzar de manera previa las serranías de la costa (al norte) y del interior (al este). Ambas serranías bloquean el avance de los alisios (en especial, la serranía de la costa) y favorecen la ocurrencia de lluvias fuera del parteaguas de la cuenca (efecto Barlovento-Sotavento; detallado en Pulwarty *et al.*, 1992). No obstante, los sistemas de tormentas de gran escala pueden ingresar a la cuenca, pues los niveles de bases de las nubes que lo conforman estarían sobre las cumbres más altas.

Asociación entre la ocurrencia de extremos pluviométricos estacionales y las fases de ENOA en el periodo 1966-1992

En la temporada seca del periodo 1966-1992 (enero-abril), alrededor de 22% de los meses coincidió con un episodio La Niña; 19%, con El Niño, y 60% con la fase neutra. Al considerar los meses de la temporada húmeda (mayo-octubre), de manera curiosa esta categorización porcentual es idéntica. Por tanto, la incidencia de la fase fría de ENOA (La Niña) fue dominante en ambas temporadas.

El cuadro 3 muestra que durante la temporada seca a lo largo del periodo 1966-1992, El Niño coincide con la ocurrencia de un mes ES, EH y NE en la estación 489: 35, 15 y 50% de las veces, respectivamente, lo cual sugiere que los meses ES pueden atribuirse, de modo parcial, a la fase cálida de ENOA. De forma similar, en la estación 491 se encontró una asociación estadísticamente significativa entre las fases ENOA y la precipitación estacional ($p \leq 0.05$, basado en prueba χ^2). Sin embargo, en este caso, la frecuencia de ocurrencia de un mes ES o EH es más alta durante la fase neutra de ENOA. De hecho, un mes ES o EH muestra una probabilidad de ocurrencia de 20 y 17%, respectivamente, en ausencia de El Niño o La Niña, sugiriendo que uno o varios factores no vinculados con ENOA están relacionados con estas condiciones climáticas a escala local. Al considerar la temporada húmeda (mayo-octubre), sólo resulta estadísticamente significativa la asociación ENOA-precipitación en la estación 1494 (figura 2). A diferencia de las estaciones anteriores, la respuesta en la estación 1494 es dual, esto es, El Niño se vincula con 20% de los meses ES, mientras que La Niña coincidió con 25% de los meses EH. En general, tales resultados evidencian que la ocurrencia de un mes ES o EH a escala local durante las temporadas seca y húmeda no puede atribuirse sólo a las fases activas de ENOA, sino que otros factores juegan un papel más importante (probablemente factores climáticos locales).

Durante la temporada seca (enero-abril) del periodo 1966-1992, se observó que, en prome-

dio, un mes ES, EH o NE es común en un 57, 31 y 63%, respectivamente, entre las estaciones analizadas cuando se da un episodio El Niño; 32, 18 y 73%, respectivamente, al suceder un episodio La Niña; y 39, 34 y 63%, respectivamente, en la fase neutra de ENOA (figura 3). A lo largo de la temporada húmeda (mayo-octubre), en promedio, un mes ES, EH o NE es común en 27, 21 y 78%, respectivamente, del total de estaciones, al coincidir con un episodio El Niño; 33, 26 y 76%, respectivamente, al suceder un episodio La Niña; y 24, 27 y 79%, respectivamente, en la fase neutra de ENOA (figura 3). Estos valores porcentuales revelan que los eventos El Niño durante la temporada seca se asocian con condiciones climáticas secas moderadamente extensas dentro de la cuenca (en promedio, 57%), mientras que la extensión espacial de los meses ES o EH durante un año La Niña es marcadamente menor a la observada durante los años El Niño. Al considerar la temporada húmeda, la incidencia espacial de El Niño es apenas superior a la observada durante la fase neutra (27 contra 24%); mientras que La Niña, de forma curiosa, se asocia con meses ES y más extenso que los notados cuando coincide con El Niño (ES según cobertura: 27% para El Niño; 33% para La Niña; y 24% neutro). En la temporada seca del periodo 1966-1992 (enero-abril) destacan dos eventos secos que cubrieron más de 80% de las estaciones en los años 1979 y 1987, vinculados con las fases neutra y El Niño de ENOA, respectivamente (figura 3a). Al considerar la temporada húmeda (mayo-octubre), sobresale la sequía del año 1973 (figura 3b), la cual causó meses ES en más de 60% de las estaciones y coincidió con la fase neutra de ENOA.

El contraste de la figura 1 y el cuadro 3 muestra que durante la temporada seca y años El Niño, los ríos Noguera y Las Minas (tributarios del río Güigüe y la Laguna de Taguayguay) tienen una mayor probabilidad de presentar meses ES. La persistencia temporal de estas condiciones climáticas puede causar que el caudal de estiaje del río Güigüe y el nivel de la laguna de Taguayguay disminuyan al tiempo de aumentar el riesgo de incendios forestales por

la alta sequedad del suelo. En la temporada húmeda de los años El Niño, los meses ES son más probables en la cuenca alta del río Las Minas y la cuenca baja del río El Limón; mientras que los meses EH son ligeramente más probables en los años La Niña sólo en Zuata y sus alrededores.

Para el periodo analizado, los resultados descritos evidencian que el fenómeno ENOA puede explicar de forma parcial la ocurrencia de meses ES o EH a escala local durante las temporadas húmedas y secas en la cuenca del lago de Valencia. El Niño presenta una mayor incidencia sobre los extremos pluviométricos que La Niña a escala local y suele estar relacionado con condiciones anómalamente secas con moderada cobertura espacial. La moderada a escasa conexión entre las fases activas de ENOA identificada a escala local sugiere que otros factores no evaluados incidieron de forma determinante sobre ciertos eventos pluviométricos extremos (por ejemplo, la sequía generalizada de 1979 se dio durante la fase neutra de ENSO).

Cabe destacar que la asociación entre las fases ENOA y las lluvias en el territorio venezolano muestra en general una alta variabilidad espacial y temporal (Cárdenas *et al.*, 2002). Esta característica ha sido atribuida a las complejas interacciones entre ENOA y ciertos modos de gran escala en el océano Atlántico y la variabilidad de la circulación atmosférica tropical (Martelo, 2003b). En todo caso, los resultados encontrados son coherentes con los hallazgos previamente reportados por Pulwarty *et al.* (1992), Martelo (2003b), y Paredes, Millano y Guevara (2008), entre otros, quienes señalan que los años El Niño favorecen la ocurrencia de meses ES; mientras que los años La Niña, meses EH.

Conclusiones

Durante los periodos 1934-2005 y 1966-1992 no se evidenció un aumento o disminución de los acumulados pluviométricos estacionales en la cuenca del lago de Valencia. Aunque se identificaron tendencias locales de diferentes grados de magnitud, no son estadísticamente significativas.

A lo largo de las temporadas de seca y húmeda de los años El Niño o La Niña, sólo algunas locaciones muestran una probabilidad de ocurrencia de meses pluviométricos extremos (EH o ES) ligeramente mayor a la observada en años neutro. En general, las sequías vinculadas con El Niño suelen ser más extensas que las condiciones climáticas más húmedas que lo normal vinculadas con La Niña. En todo caso, una alta proporción de las sequías o temporales persistentes en la cuenca no están asociadas con las fases activas de ENSO, sino posiblemente con otros factores climáticos locales no identificados.

Agradecimientos

Los autores expresan un especial reconocimiento por el soporte económico obtenido para financiar el estudio por parte de las agencias FONACIT (proyecto 2011001251, Venezuela); CAPES (26001012005P5 PNPD-UFAL/Meteorología, Brasil) y CAPES/CEMADEN/MTCI (projeto Análise e Previsão dos Fenômenos Hidrometeorológicos Intensos do Leste do Nordeste Brasileiro, Brasil).

Anexos

Prueba de autocorrelación serial de Durbin-Watson

Al aplicar un análisis de regresión simple o múltiple entre dos o un grupo de variables se puede detectar la ocurrencia de una correlación seriada para un desfase unitario en los residuos derivados del modelo ajustado. Suponga que la serie anual de precipitación en una estación k tiene L años de longitud, entonces sus observaciones forman un vector $a_1 \dots a_L$, donde $i = 1 \dots L$. Si las observaciones se ordenan en forma ascendente resulta $p(x, y) = (1, a_1), (2, a_2) \dots (L, a_L)$. Al aplicar un análisis de regresión lineal a la matriz p se obtiene una ecuación lineal ajustada, cuyos residuos forman un vector $e(e_1, e_2, e_3, \dots, e_L)$. Entonces, el estadístico de prueba Durbin-Watson (d) está dado por:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{t=L} (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{t=L} e_t^2} \quad (1)$$

El estadístico d es contrastado contra dos umbrales $d_{L,\alpha}$ y $d_{U,\alpha}$ anexo en Fox (2008). Estos umbrales dependen del nivel de significación considerado en la prueba (α), L y el número de predictores de la ecuación de regresión. Las reglas de decisión son:

Si $d < d_{L,\alpha}$ los términos de error están autocorrelacionados de forma positiva.

Si $d > d_{U,\alpha}$ los términos de error no están autocorrelacionados de forma positiva.

Si $d_{L,\alpha} < d < d_{U,\alpha}$ la prueba no es concluyente.

Si $(4 - d) < d_{L,\alpha}$ los términos de error están autocorrelacionados de modo negativo.

Si $(4 - d) > d_{U,\alpha}$ los términos de error no están autocorrelacionados de modo negativo.

Si $d_{L,\alpha} < (4 - d) < d_{U,\alpha}$ la prueba no es concluyente.

La detección de una autocorrelación serial estadísticamente significativa en la serie anual de precipitación puede ser atribuida a la ocurrencia de errores en la medición de la precipitación.

Prueba de homogeneidad de Easterling-Peterson

Esta técnica permite detectar variaciones en la serie de precipitación anual inducidas por factores no climáticos. Suponga que la serie anual de precipitación en una estación k tiene L años de longitud de registros. En principio se selecciona una estación de referencia cercana a la estación evaluada con igual longitud de registro (al menos 30 años en común). Después se obtiene un vector diferencia, restando las observaciones de ambas estaciones año con año desde $t = 1 \dots L$. Luego, dicha serie se divide en dos subseries S_1 y S_2 de longitud L_1 y L_2 , donde $n = 2 \dots L$; por tanto, $L_1 = L - n$, $L_2 = L - L_1$, resultando $S_1 = a_1, a_2, \dots, a_{L-n}$ y $S_2 = a_{L-(n-1)}, a_{L-(n-2)}, \dots, a_L$. Para identificar si el año n es no homogéneo, se aplica una prueba *t-Student* de diferencia de medias a las observaciones contenidas en cada subserie a un nivel de confianza α . Si esta prueba resulta significativa, se concluye que la serie no es homogénea en el año n . Una serie puede tener más de un año no

homogéneo, lo cual podría ser causado por un factor no climático.

Prueba de tendencia de Mann-Kendall

Esta prueba permite detectar una tendencia monótona en una serie de precipitación anual. Suponga que la serie anual de precipitación en una estación k tiene L años de longitud, entonces sus observaciones forman un vector $a_1 \dots a_L$, donde $i = 1 \dots L$ (note que $L \geq 30$ años). Las observaciones se analizan pareadas, como sigue: $p(x, y) = (1, a_1), (2, a_2) \dots (L, a_L)$. En principio, se calcula el parámetro S de Kendall:

Para $a_2 \rightarrow$ si $a_1 > a_2$ score = +1, si $a_1 < a_2$ score = -1, si $a_1 = a_2$ score = 0; si $a_3 > a_2$ score = +1, si $a_3 < a_2$ score = -1, si $a_3 = a_2$ score = 0; ... si $a_L > a_2$ score = +1, si $a_L < a_2$ score = -1, si $a_L = a_2$ score = 0. Este procedimiento se repite desde a_3 hasta a_L . Note que en cada contraste, $a_j > a_i$ o $a_j < a_i$ siempre $j > i$.

Luego se totalizan los scores. P representa el total de scores positivos y M el total de los scores negativos. Hecho esto, $S = P - M$. El número total de comparaciones está dado por $L(L-1)/2$. Por tanto, el τ de Kendall es:

$$\tau = \frac{S}{L(L-1)/2} \quad (2)$$

Para estimar la significancia estadística del τ de Kendall, se consulta el anexo B de Helsel y Hirsch (1993), empleando los parámetros L y S como variables de entrada.

Referencias

- Allan, J., Lindesay, J., & Parker, D. (2000). ENSO and Climate Variability in the Past 150 Years (pp. 3-56). In H. Díaz & V. Markgraf (Eds.). *El Niño and the Southern Oscillation, Multiscale Variability and Global and Regional Impacts*. Cambridge, UK: H. Díaz & V. Markgraf Editores.
- Arntz, W., & Fahrback, E. (1991). *El Niño: experimento climático de la naturaleza* (312 pp.). México, DF: Fondo de Cultura Económica.
- Ascenzi, E., Mora, E., & Pino, D. (2007). *Evaluación de los parámetros hidrológico-ambientales de la cuenca del lago de Valencia* (120 pp.). Disertación de la Escuela de Ingeniería Civil. Naganagua, Venezuela: Universidad de Carabobo.
- Banco Mundial-Naciones Unidas (2001). *Natural Hazards – Unnatural Disasters: The Economics of Effective Prevention* (278 pp.). Washington, DC: Banco Mundial, Naciones Unidas.
- Beniston, M., Diaz, H. F., & Bradley, R. S. (1997). Climatic Change at High Elevation Sites: An Overview. *Climatic Change*, 36(3-4), 233-251.
- Bradbury, J., Leyden, B., Salgado-Labouriau, M., Lewis, J., Schubert, C., & Binford, M. (1981). Late Quaternary Environmental History of Lake Valencia. *Science*, 214(18), 1299-1305.
- Brito, L., Vivoni, E. R., Gochis, D. J., Filonov, A., Tereshchenko, I., & Monzon, C. (2010). An Anomaly in the Occurrence of the Month of Maximum Precipitation Distribution in Northwest Mexico. *Journal of Arid Environments*, 74, 531-539.
- Buishand, T. (1982). Some Methods for Testing the Homogeneity of Rainfall Records. *Journal of Hydrology*, 58, 11-27.
- Cárdenas, P., & De Grazy, E. (2003). *Tendencia a largo plazo en la precipitación para Venezuela* (43 pp.). Caracas: Proyecto MARN-PNUD VEN/00/G31 en el marco de la Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela.
- Cárdenas, P., García, L., & Gil, A. (2002). *Impacto de los eventos El Niño-Oscilación del Sur en Venezuela* (130 pp.). Caracas: Corporación Andina de Fomento.
- Carrillo, J. (1999). *Agroclimatología* (478 pp.). Caracas: Editorial Innovación Tecnológica, Universidad Central de Venezuela.
- Caviedes, C. N. (1998). Influencia de ENSO sobre las variaciones interanuales de ciertos ríos en América del Sur. *Bulletin de l'Institut Français D'études Andines*, 27, 627-642.
- Comisión Europea (2009). *Cambio climático en América Latina* (120 pp.). Bruselas: ARCA Consulting.
- CNMeH-CONICIT (1998). *El Fenómeno El Niño y su posible influencia sobre el Territorio de Venezuela* (21 pp.). Caracas: Comisión Nacional de Meteorología e Hidrología & Comisión Nacional de Investigación, Ciencia y Tecnología.
- Díaz, P. (2006). *La colección arqueológica del lago de Valencia: documentación y nueva museología* (850 pp.). Valencia, Venezuela: N. Díaz Peña Editor.
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A., & Chávez, G. (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica* (120 pp.). Serie: Recursos Naturales e Infraestructura. Washington, DC: CEPAL-Naciones Unidas.
- Filippone, M. (1999). *Evaluación del impacto económico de instrumentos ambientales de mercado para el caso de la contaminación hídrica del lago de Valencia* (85 pp.). Disertación en la Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello.
- Foghini-Pillin, S. (2002). *Tiempo y clima en Venezuela. Aproximación a una geografía climática del territorio*

- venezolano (160 pp.). Colección Clase Magistral. Caracas: Universidad Pedagógica El Libertador.
- Fox, J. (2008). *Applied Regression Analysis and Generalized Linear Models* (180 pp.) (2nd edition). California, USA: Sage.
- Giddings, L., & Soto, M. (2006). Teleconexiones y precipitación en América del Sur. *Revista de Climatología*, 6, 13-20.
- Goldbrunner, A. (1984). *Atlas climatológico de Venezuela 1951/70* (50 pp.). Caracas: Servicio de Meteorología, Fuerza Aérea.
- González-Longatt, F. (2015). Wind Resource Potential in Los Taques-Venezuela. *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, 13(5), 1429-1437.
- Greenwood, P., & Nikulin, M. (1996). *A Guide to Chi-Squared Testing* (280 pp.). New York: John Wiley & Sons.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis (300 pp.). Contribución de los grupos de trabajo I, II y III. En *Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Guan, H., Huang-Hsiung, H., Makhnin, O., Xied, H., & Wilson, J. L. (June, 2009). Examination of Selected Atmospheric and Orographic Effects on Monthly Precipitation of Taiwan Using the ASODeK Model. *International Journal of Climatology*, 29(8), 1171-1181.
- Guevara, E., & Márquez, A. (2012). La problemática ambiental de la cuenca del lago de Valencia en Venezuela. *Memorias en CD ROM. XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, San José, Costa Rica del 9 al 12 de septiembre de 2012.
- Guevara, E., & Paredes, F. (2007). Influencia de variables macroclimáticas sobre el régimen pluviométrico del estado Cojedes, Venezuela. *Revista Ingeniería UC*, 14(3), 49-56.
- Guevara, E., Guevara, J. E., & García, E. (2008). Régimen climático y patrón espacial de las lluvias en la cuenca del lago de Valencia, Venezuela. *Revista de Climatología*, 15(2), 29-40.
- Helsel, D., & Hirsch, R. (1993). *Statistical Methods in Water Resources* (548 pp.). Amsterdam: Elsevier.
- Insel, N., Poulsen, Ch. J., & Ehlers, T. A. (2010). Influence of the Andes Mountains on South American Moisture Transport, Convection, and Precipitation. *Climate Dynamics*, 35(7-8), 1477-1492.
- Kendall, M. (1975). *Rank Correlation Methods* (350 pp.) (4th ed.). London: Charles Griffin & Company, Ltd.
- Magaña, V., & Ambrizzi, T. (2005). Dynamics of Subtropical Vertical Motions over the Americas during El Niño Boreal Winters. *Atmósfera*, 18, 211-234.
- Marín, CH. (2002). Rendimiento y producción agrícola vegetal: un análisis del entorno mundial (1997-1999) y de Venezuela (1988-2001). *Agroalimentaria*, 15, 49-73.
- Martelo, M. (2003a). *La precipitación en Venezuela y su relación con el sistema climático* (72 pp.). Caracas: Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanología, Dirección General de Cuencas Hidrográficas del Ministerio del Ambiente.
- Martelo, M. (2003b). *Influencia de las variables macroclimáticas en el clima de Venezuela* (72 pp.). Caracas: Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanología, Dirección General de Cuencas Hidrográficas del Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables (2007). *Lecturas de cotas del espejo de aguas del lago de Valencia. Período 1996-2007* (10 pp.). Valencia, Venezuela: Agencia de Cuenca del Lago de Valencia.
- Paredes, F., Guevara, E., Uzcatogui, C., & Garbi, J. (octubre 2013). Análisis regional de frecuencia de la precipitación anual y estacional en la cuenca del lago de Valencia: aproximación de la amenaza pluviométrica. *Memoria en CD-ROM del VIII Congreso Nacional de la Universidad de Carabobo*, Universidad de Carabobo, Naganagua.
- Paredes, F., Millano, J. L., & Guevara, E. (2008). Análisis espacial de las sequías meteorológicas en la región de Los Llanos de Venezuela durante el período 1961-1996. *Revista de Climatología*, 8, 15-27.
- Pérez, N. L. (2012). Influencia de episodios El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) sobre la precipitación en el Estado Monagas, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(2), 400-406.
- Pierre, F., & Tirado, M. (2007). Influencia del ENOS sobre la precipitación en la cuenca del río Yacambú y la depresión de Quíbor, estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 19(1), 41-52.
- PNUMA-CEPAL (2010). *Gráficos Vitales del Cambio Climático para América Latina y El Caribe* (44 pp.). Santiago, Chile: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente-Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Pulwarty, R. S., Barry, R. G., Hurst, C. M., Sellinger, K., & Mogollon, L. F. (1998). Precipitation in the Venezuelan Andes in the Context of Regional Climate. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 67(1-4), 217-237.
- Pulwarty, R., Barry, R., & Riehl, H. (1992). Annual and Seasonal Patterns of Rainfall Variability over Venezuela. *Erkunde*, 46, 273-289.
- Rogers, J. C. (1988). Precipitation Variability over the Caribbean and Tropical Americas Associated with the Southern Oscillation. *Journal of Climate*, 1(2), 172-182.
- Rollenbeck, R., & Anhué, D. (2007). Characteristics of the Water and Energy Balance in an Amazonian Lowland Rainforest in Venezuela and the Impact of the ENSO-Cycle. *Journal of Hydrology*, 337(3), 377-390.
- Sequera, T. (1994). *Geografía económica de Venezuela* (85 pp.). Caracas: Editorial Alfa.

- Štěpánek, P. (2008). *AnClim-Software for Time Series Analysis*.
Departamento de Geografía. Brno, Czech Republic:
Universidad de Masaryk.
- Winemiller, K. (1990). Spatial and Temporal Variation in
Tropical Fish Trophic Networks. *Ecological Monographs*,
60(3), 331-367.

Dirección institucional de los autores

Dr. Franklin Paredes Trejo

Universidad Nacional de Los Llanos Occidentales
Ezequiel Zamora
Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales
Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de
la Universidad de Carabobo
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Tecnología
2201 Avenida Universidad, km 4. San Carlos
Cojedes, VENEZUELA
Teléfono: +58 (258) 2517 675
franklinparedes75@gmail.com

Dr. Edilberto Guevara Pérez

Universidad de Carabobo
Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de
la Universidad de Carabobo
Escuela de Ingeniería Civil
Bárbula-Valencia, Carabobo, VENEZUELA
Teléfono: +58 (241) 842 7929
eguevara99@gmail.com

Dr. Humberto Barbosa Alves

Universidad Federal de Alagoas
Laboratorio de Análisis y Procesamiento de Imágenes de
Satélites (LAPIS)
Instituto de Ciencias Atmosféricas
Maceió, Alagoas, BRASIL
Teléfono: +55 (82) 3214 1376
barbosa33@gmail.com

Ing. Carlos Uzcátegui Briceño

Universidad Federal de Alagoas
Laboratorio de Análisis y Procesamiento de Imágenes de
Satélites (LAPIS)
Instituto de Ciencias Atmosféricas
Maceió, Alagoas, BRASIL
Teléfono: +55 (82) 3214-1376
ubcarlos84@gmail.com