

Dinámica de los eventos climáticos extremos en la cuenca del río Portoviejo, Manabí, Ecuador

The dynamic of extreme climatic events in the Portoviejo river basin, in Manabí-Ecuador

Dirk Thielen Engelbertz PhD

Investigador del Programa Prometeo, Departamento Central de Investigación, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. dirkthielen@gmail.com

Jimmy Cevallos Zambrano Mg.

Docente e Investigador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. jimmycev@hotmail.com

Tito Erazo Cedeño Mg.

Director del Departamento de Medio Ambiente y Docente de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. tito.erazo@uleam.edu.ec

Shirley Zurita Alfaro Mg.

Investigadora del Departamento Central de Investigación de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. ingrid.zurita@uleam.edu.ec

Biol. Juan Alberto Figueroa Pico

Investigador del Departamento Central de Investigación, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. alberto.figueroa@uleam.edu.ec

Lcdo. José Quintero Delgado

Profesional Asociado a la Investigación Laboratorio de Productividad y Desarrollo Vegetal, Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas, Venezuela. jqintero@ivic.gob.ve

Tglo. Nathaly Matute Melendez

Técnico Asociado a la Investigación Laboratorio de Productividad y Desarrollo Vegetal, Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas, Venezuela. nmatute@ivic.gob.ve

Lcda. Grisel Velásquez Castro

Profesional Asociado a la Investigación y Coordinadora de Unidad Unidad de Sistemas de Información Geográfica-UniSIG, Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas, Venezuela. gvelasqu@ivic.gob.ve

Mary Luz Puche Cárdenas PhD

Personal científico del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas, Venezuela. maryluzpuche@gmail.com

RESUMEN

Este artículo evidencia la dinámica espacio-temporal de eventos climáticos extremos, referidos estos a condiciones de precipitación con capacidad de generar bien sean inundaciones o severas sequías, en uno de los más importantes sistemas hidrológicos de la vertiente del Pacífico del Ecuador, la cuenca del río Portoviejo, en la provincia de Manabí. El análisis de las precipitaciones a través del Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP) permitió establecer que el 14,8 % de los meses entre 1971-2011 están vinculados a condiciones de precipitaciones moderadas a extremas asociados a eventos ENOS, específicamente a temperaturas cálidas en la región Niño 1+2 del Pacífico. En relación a eventos extremos secos, estos tienden a correlacionarse con una elevada actividad de huracanes en el Caribe y de lluvias monzónicas en la India. En el sentido de evaluar situaciones de riesgo en la cuenca del río Portoviejo, así como planificar medidas de mitigación y/o adaptación que permita la sostenibilidad de sus actividades, es importante realizar seguimiento a las tendencias de distintas variables macroclimáticas.

Palabras clave: Análisis espacial de precipitaciones, Análisis temporal de precipitaciones, Cambio climático, Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica, Geoestadística.

ABSTRACT

This article shows the spatio-temporal dynamics of extreme climatic events, they refer to precipitation conditions with the capability of generating either floods or severe droughts, in one of the most important hydrological systems of the Pacific coast of Ecuador - the Portoviejo river basin. Here, the use of the Standardized Drought Index Rainfall Measuring (IESP) in the analysis of precipitation showed that 14,8 % of the months between 1971-2011 are linked to rainfall conditions from moderate to extreme associated with ENSO, specifically to warm temperatures in the Niño 1 + 2 region of the Pacific. Regarding extreme dry events, these tend to correlate with high hurricane activity in the Caribbean and monsoon rains in India. In the sense of assessing risk situations in the Portoviejo River basin, and planning mitigation and / or adaptation to enable sustainability of their activities, it is important to track trends of different macroclimatic variables that have been established to be correlated to local precipitation conditions.

Key words: Spatial analysis of precipitation, Standardized Precipitation Index, Temporal analysis of precipitation, Climate change, Portoviejo river basin, Geostatistics.



Recibido: 19 de enero, 2014
Aceptado: 28 de abril, 2015

1. INTRODUCCIÓN

Con una extensión de más 210 000 ha, la cuenca del río Portoviejo se presenta como uno de los más importantes sistemas hidrológicos de la vertiente del Pacífico del Ecuador. Está localizada en la región central de la provincia de Manabí. La actividad económica más importante es la agricultura, que ocupa a más del 50 % de la población económicamente activa (PACC, 2009).

El río Portoviejo es la más importante fuente de agua para la región central de Manabí. Abastece de agua potable a más de 600 000 personas en ciudades como Portoviejo, Santa Ana, Rocafuerte e incluso a otras fuera de su cuenca como son Manta, Montecristi, Jaramijó y Jipijapa (Zevallos, 2004; Hurtado Pidal & Suntaxi Aluisa, 2013). La cuenca aporta 1 590 hm³/año o el equivalente al 2 % nacional (INAHMI, 2000). Las precipitaciones en la región central de la provincia de Manabí son altamente estacionales y están fuertemente relacionadas con el calentamiento estacional del océano circundante a la costa ecuatoriana y al tránsito de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) (Hernández & Zambrano, 2007; Cedeño & Donoso, 2010). En este sistema de aparente “nitidez” estacional, anomalías en las temperaturas superficiales del mar, como las que ocurren durante un evento El Niño (o La Niña), se presentan como las principales responsables de la fuerte variabilidad del clima costero y de la irregularidad interanual de la pluviometría, lo que se traduce en una sucesión de déficits y excesos de lluvias que provocan sequías e inundaciones catastróficas (Rossel, 1997).

El IPCC (2012 y 2014) indica que, desde la década del 70 del siglo pasado y a escala mundial, la superficie afectada por las sequías ha aumentado, y pronostica que en el corto y mediano plazo, el cambio climático hará que las áreas afectadas por sequías aumenten en extensión, repercutiendo negativamente en múltiples sectores: agricultura, suministro hídrico, producción de energía y salud.

La creciente presión sobre el uso de los

recursos hídricos ha llevado a la búsqueda de un mejor conocimiento de los factores climáticos que influyen en su distribución y variación espacial y temporal (Donoso *et al.*, 2001). Muy especialmente, los relacionados a eventos climáticos extremos con capacidad de generar condiciones de sequía o de inundación.

El Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP) se presenta como una herramienta especialmente útil para el logro de este objetivo. Se basa en estimar la probabilidad de la precipitación para cualquier escala temporal (Doesken *et al.*, 1991; Mckee *et al.*, 1993 y 1995). El índice está compuesto sólo por la precipitación y la ventaja principal es que se puede medir en diferentes regiones y para diferentes períodos de tiempo. Es muy versátil, y por ello bastante apreciado, especialmente entre los planificadores (Sanz Donaire, 2007) y es usado extensamente para identificar los diferentes niveles de alarma referidas a condiciones climáticas extremadamente secas o lluviosas (Edwards & Mckee, 1997).

El IESP es negativo para la sequedad y positivo para las condiciones húmedas. Debido a que estas condiciones pueden presentar una gran variación tanto en el tiempo como en el espacio, es importante complementar su análisis espacial a través del uso de sofisticadas herramientas geoestadísticas disponibles en los Sistemas de Información Geográfica.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo estudiar la dinámica temporal de los eventos climáticos extremos a través del análisis del IESP y la identificación de las relaciones espaciales de dicha dinámica a través de la aplicación de avanzadas técnicas geoestadísticas como es la interpolación.

2. METODOLOGÍA

El área de estudio fue definida siguiendo la metodología propuesta por Thielen *et al.* (2015) comprendida por la totalidad de la cuenca del río Portoviejo que, para los fines del presente

estudio, es de 212 638,81 ha (Figura 1). Esta área resulta de la delineación de la divisoria de aguas detectables en un modelo de elevación digital de ≈ 30 m de resolución espacial.

La delineación se realizó con la ayuda de aplicaciones del Spatial Analyst Tools del software ArcGIS, sobre un mosaico de cuatro imágenes del sensor ASTER Global DEM y de extensión 0-2°S y 81-80°W, provistas por el USGS a través de su geoportal <http://earthexplorer.usgs.gov/>, a saber: ASTGDEM2_0S01W081, A S T G D E M V 2 _ 0 S 0 1 W 0 8 0 ,

ASTGDEM2_0S02W081 y ASTGDEM2_0S02W080.

Para el análisis climático se consideraron los datos de precipitación en base mensual disponibles, tanto para estaciones meteorológicas comprendidas en el área de la cuenca como aquellas ubicadas hasta una distancia de 50 km de la misma. En el caso del presente estudio se consideraron 30 estaciones cuyos datos, para los 41 años de la serie 1971-2011, están disponibles en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) (Figura 2).

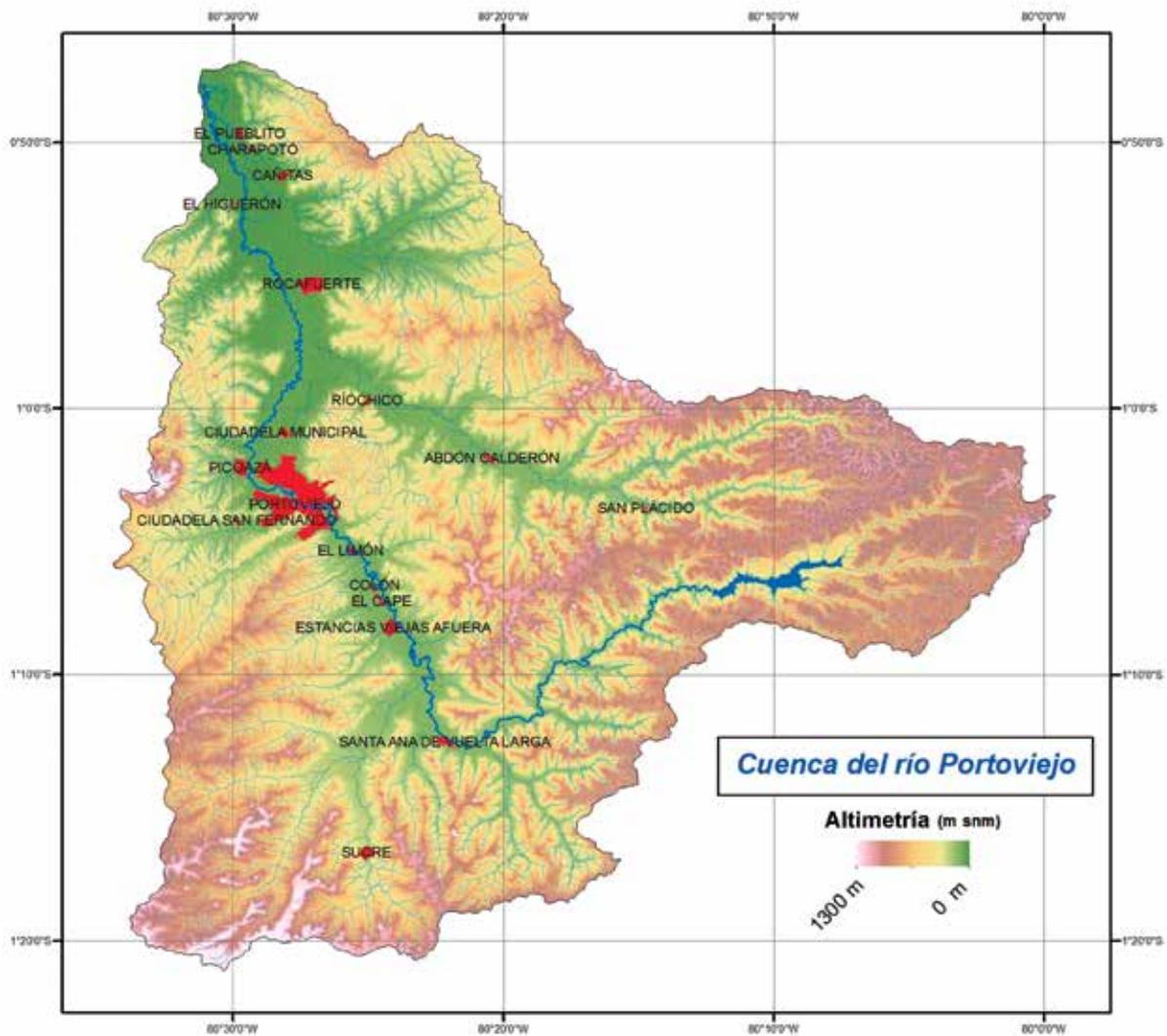


Figura 1. Cuenca del río Portoviejo, Manabí-Ecuador (212.638,81 Ha). Detalle del cauce del río, de los principales centros poblados y de la altimetría.

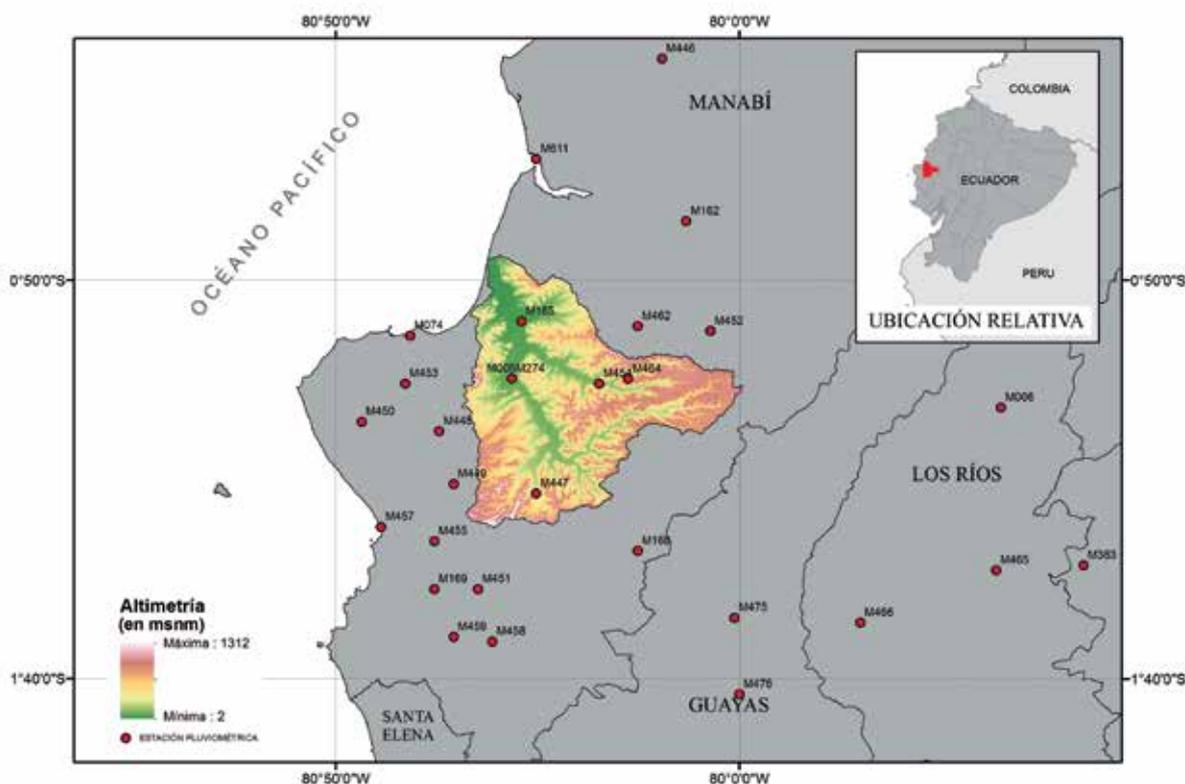


Figura 2. Ubicación del área de la cuenca del río Portoviejo, Manabí-Ecuador, y de las 30 estaciones pluviométricas cuyos datos fueron utilizados en los análisis de la serie 1971-2011 (las etiquetas se refieren a los códigos con los que son identificadas por el INAMHI del Ecuador).

La variabilidad temporal (base mensual) resultante en el IESP por estación meteorológica y para el área de la cuenca fue estimada a partir de la siguiente ecuación:

$$IESP_i = \frac{APAc_i - \overline{APAc}}{\sigma_{APAc}}$$

donde:

$IESP_i$ = Índice estandarizado de sequía pluviométrica del mes i .

$APAc_i$ = Anomalia pluviométrica acumulada del mes i .

\overline{APAc} = Valor medio de las anomalías pluviométricas acumuladas de todos los meses de la serie.

σ_{APAc} = Desviación típica de las anomalías pluviométricas acumuladas de todos los meses de la serie.

Al estar la información anterior relacionada a una estación meteorológica específica, y estar cada una de estas debidamente georeferenciadas, se pudo establecer su relación espacial a través de la aplicación de herramientas geoestadísticas disponibles en el ArcGIS.

El método de interpolación IDW (Distancia Inversa Ponderada) permitió la generación de mapas mensuales del IESP para diferentes series de tiempo. Se prefirió el uso de este método siguiendo las recomendaciones de Farrow (2009) y Ochoa *et al.* (2014) quienes identifican a los otros métodos de interpolación (eg. Modificado de Shepard y Kriging Ordinario) como apropiados para variables ambientales que no sean discontinuas en el espacio ni en el tiempo, y/o para escalas espaciales de análisis superiores a las del presente estudio.

Por último, la identificación de posibles conexiones entre la dinámica de los eventos climáticos extremos y las variables macroclimáticas se realizó a través del Coeficiente de Correlación Lineal de Pearson entre la variabilidad mensual histórica de las precipitaciones (en mm) resultante para el área de la cuenca con los correspondientes valores de los principales índices climáticos (atmosféricos y oceánicos) disponibles en los servidores de la NOAA (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/>). El coeficiente de correlación de Pearson, es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente (Sokal & Rohlf, 2012). El valor de la correlación es igual a 1 o -1 si la covariación es de intensidad máxima y se va acercando hacia el 0 cuanto más pequeña sea la intensidad de la covariación. Además, el índice tiene signo positivo cuando la covariación es directa y negativo cuando es inversa.

3. RESULTADOS

Para la serie 1971-2011, el área de la cuenca del río Portoviejo presentó una precipitación media anual de 1 043 mm. Espacialmente, estas precipitaciones responden a un gradiente

altimétrico donde: los valores más bajos de precipitación (<500mm/año) corresponden a aquellos de menor elevación y próximos al mar, mientras que la situación más húmeda (>1000mm/año) tiende a presentarse en las partes altas de la cuenca, especialmente en la sección oriental.

Temporalmente, las precipitaciones en la cuenca tienden a concentrarse entre los meses de enero y abril, resultando en una única estación de lluvias bien definida que compromete 806 mm o el equivalente al 77,3 % del total anual (Figura 3). La Figura 4 resume la dinámica temporal de las anomalías mensuales de precipitación para el área de la cuenca y para la serie 1971-2011.

Los resultados de la variabilidad temporal (base mensual) resultante en el IESP señalan que el 14,8 % de los meses de la serie están vinculados a condiciones de precipitación moderadas a extremas (Figura 5). Para la cuenca del río Portoviejo, la frecuencia de meses especialmente secos (con un IESP<-1) es significativamente mayor (Test t, P<0,05) frente a los meses que presentan una condición especialmente húmeda y con un IESP>1.

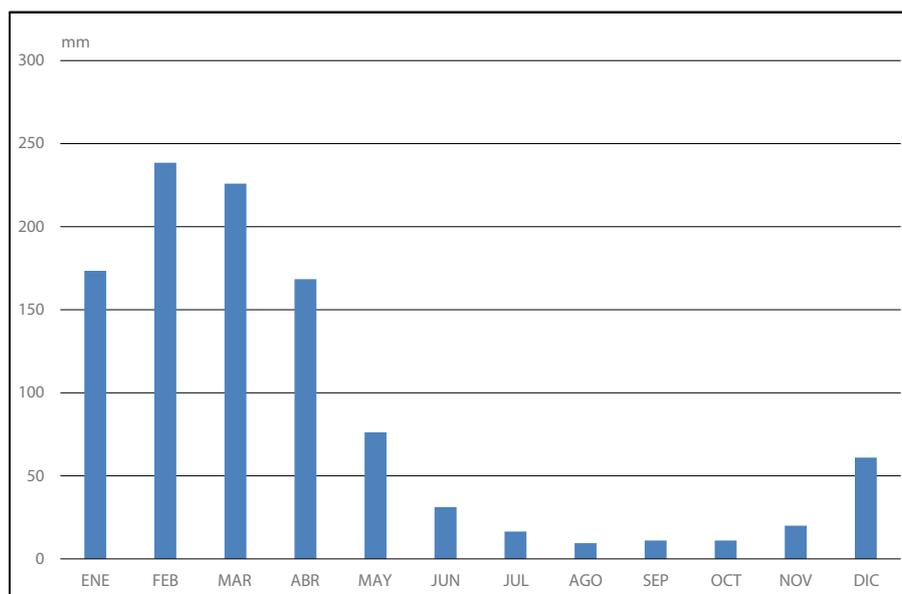


Figura 3. Distribución anual de las precipitaciones para el área de la cuenca del río Portoviejo, durante la serie 1971-2011.

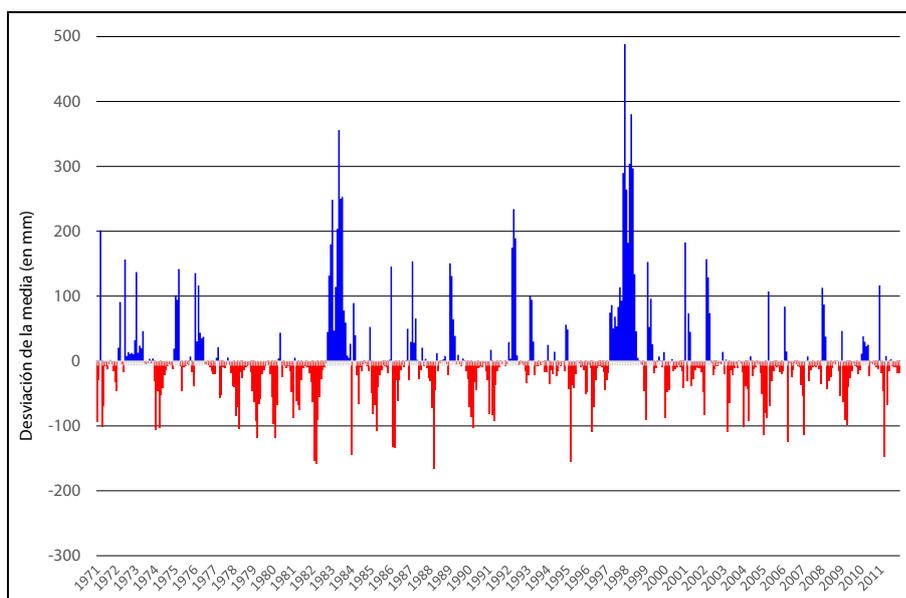


Figura 4. Anomalías mensuales de precipitación (desviación de la media, en mm) para el área de la cuenca del río Portoviejo y para la serie 1971-2011.

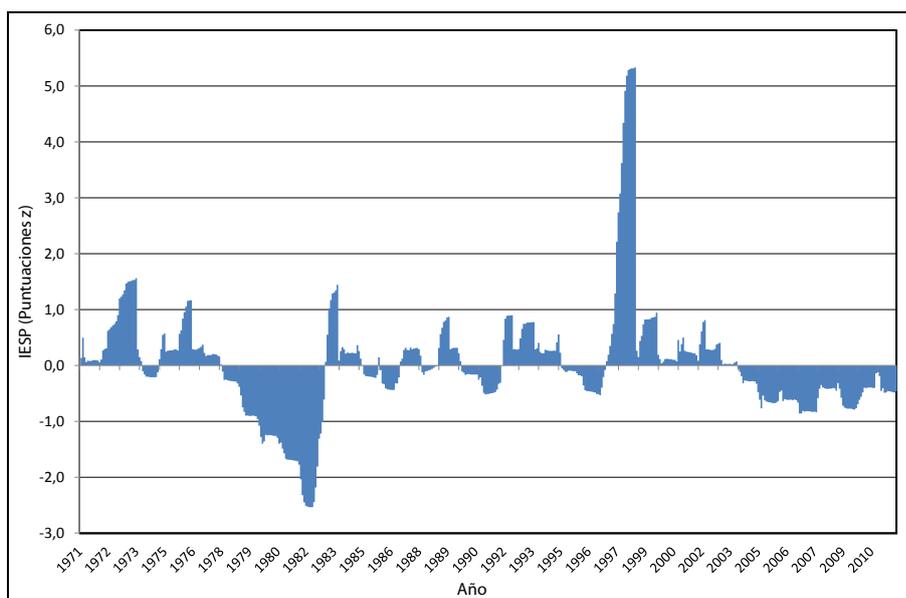


Figura 5. Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP) para el área de la cuenca del río Portoviejo, Manabí-Ecuador, durante la serie 1971-2011.

En relación a eventos extremos secos, entre enero/80 y marzo/83, ocurrió una pulsación de 39 meses continuos. Por espacio de 10 meses (feb 82/nov 82) (ver Figura 5), la sequía fue *severa* (IESP -1,5 a -1,9) en el 45,4 % de la cuenca y *extremadamente fuerte* (IESP < -2.0) en el área restante, principalmente en

las zonas medias y altas (Figura 1 y 6). Esta condición tiende a correlacionarse con una elevada actividad de huracanes en el Caribe y las lluvias monzónicas en la India, así como a una elevada presión atmosférica en la región norte del Pacífico (30°N-65°N, 160°E-140°W) (ver Figura 7).

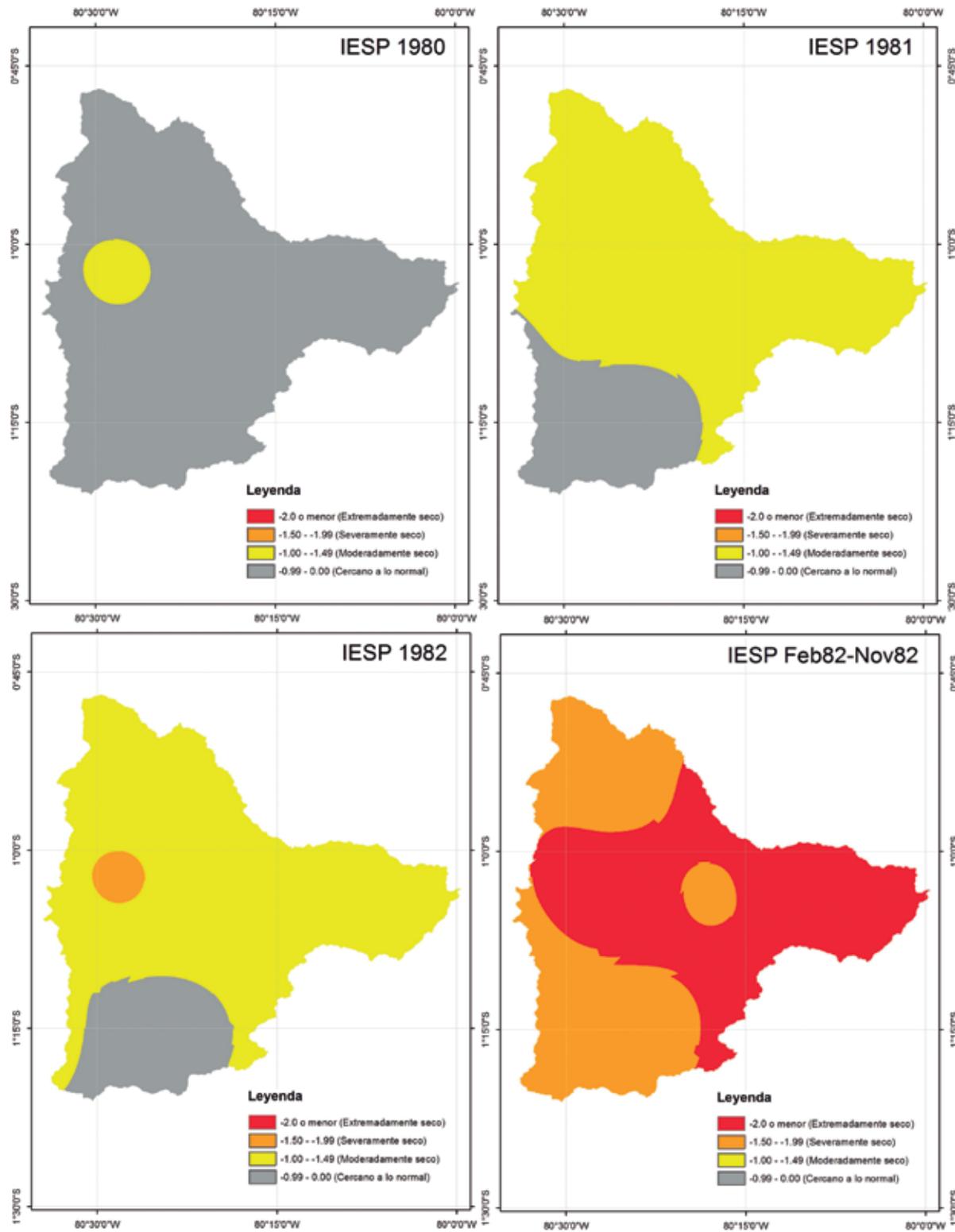


Figura 6. Dinámica espacio-temporal del IESP en la cuenca del río Portoviejo, Manabí-Ecuador, durante el episodio de sequía de 39 meses entre enero de 1980 y marzo de 1983.

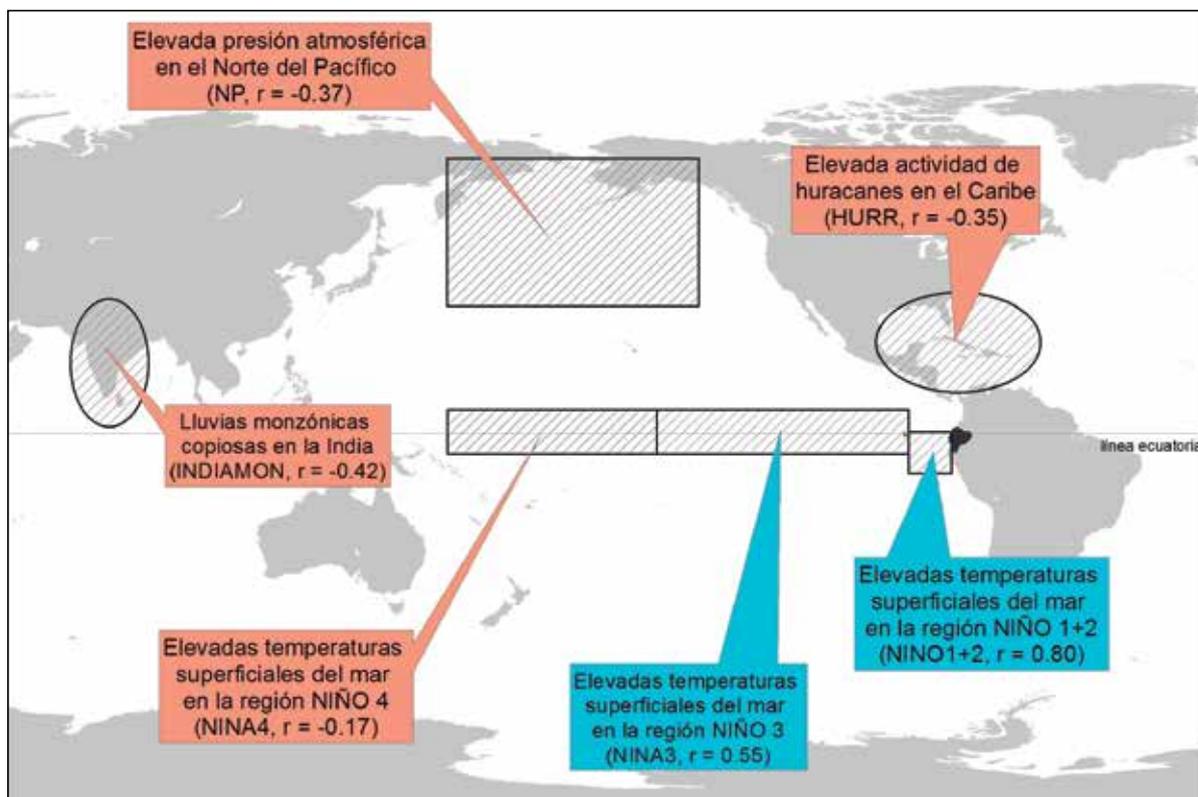


Figura 7. Relaciones entre distintas variables macroclimáticas y las condiciones de precipitación en la cuenca del río Portoviejo. Áreas a rayas, zonas donde se miden las diferentes variables macroclimáticas. En azul, la variable se correlaciona a una condición húmeda y en rojo, a una condición seca. Entre paréntesis se tiene el acrónimo del índice climático según nomenclatura de la NOAA, así como el coeficiente de correlación correspondiente.

Por los últimos 8 años de la serie, correlacionada ahora a temperaturas superficiales del mar cálidas en la región *Niño* 4, parte central del Pacífico (5°N-5°S, 160°E-150°W) (Figura 7), la condición de la cuenca ha sido persistentemente seca (IESP <0) y muy próxima a la de sequía moderada (IESP <-1) (Figura 5). Carvajal & Rodríguez (2010) señalan que desde 1988, han ocurrido cuatro sequías en la provincia de Manabí. En 2009 la sequía afectó 37 450 ha de maíz, 15 600 ha de arroz, 254 900 ha de pasto, entre otros cultivos. Las pérdidas económicas alcanzarían la cifra de 262 millones de dólares en el sector agrícola, sin tomar en cuenta al pecuario.

4. DISCUSIÓN

Para la cuenca del río Portoviejo prevalece la condición seca y próxima a la de una sequía. En consideración a esta situación, en la provincia de

Manabí, especialmente por la referencia histórica que existe, el recurso hídrico debe manejarse con un constante criterio de escasez. Carvajal & Rodríguez (2010) y SENPLADES (2010) advierten que esta situación tiene incidencias negativas en la disponibilidad del agua en la cuenca y requiere de especial atención al momento de proyectar y administrar el trasvase que se hace de este recurso al embalse de Poza Honda desde embalses ubicados en otras cuencas (Daule Peripa-La Esperanza y La Esperanza-Poza Honda).

Por otro lado, entre 1971 y 2011, la ocurrencia de eventos especialmente húmedos (IESP >1) estaba asociada a eventos ENOS (El Niño Oscilación Sur) de fuertes a muy fuertes, como fueron los eventos climáticos El Niño 72/73, 76, 82/83 y 97/98. En el caso específico de El Niño 97/98, este ocasionó una condición extremadamente húmeda (IESP >+2,0 y <+5,3)

durante 12 meses continuos (dic 97/nov 98), afectando más del 58 % de la cuenca, muy especialmente sus zonas más bajas, donde se concentra la mayor actividad agrícola y las áreas urbanas (Figuras 8 y 9). Según Nolivos Álvarez & Santos Dávila (2009) durante El Niño 97/98, los cultivos más afectados en la provincia de Manabí fueron los de caña de azúcar, banano, café, cacao, arroz y maíz duro. Al respecto, CRM-INERHI-CONADE-OEA (1991), Pourrut & Nouvelot (1995), Gómez *et al.* (1996),

CAF (2000), Carvajal & Rodríguez (2010) han identificado para la costa ecuatoriana a El Niño como la fuente de la mayor variabilidad de sus precipitaciones. El presente estudio, confirma estas observaciones que permiten asegurar que la condición anormalmente *perhúmeda* que genera un evento ENOS en la cuenca, está fuertemente correlacionada a temperaturas superficiales del mar cálidas en la región *Niño* 1+2 del Pacífico (0°-10°S, 90°W-80°W) (ver Figura 7).

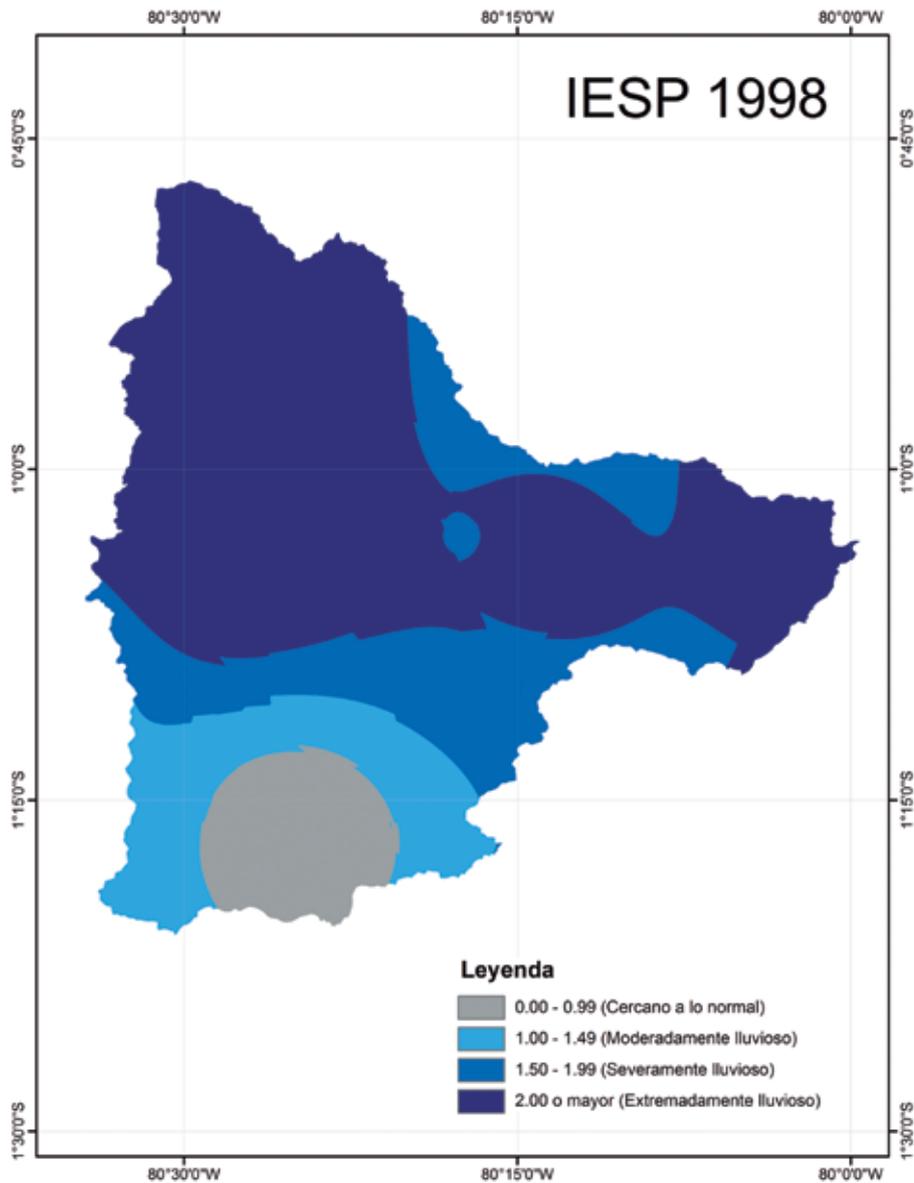


Figura 8. Dinámica espacial del IESP para enero y diciembre de 1998 en la cuenca del río Portoviejo, Manabí-Ecuador, durante el evento ENOS más intenso registrado: El Niño 97/98.

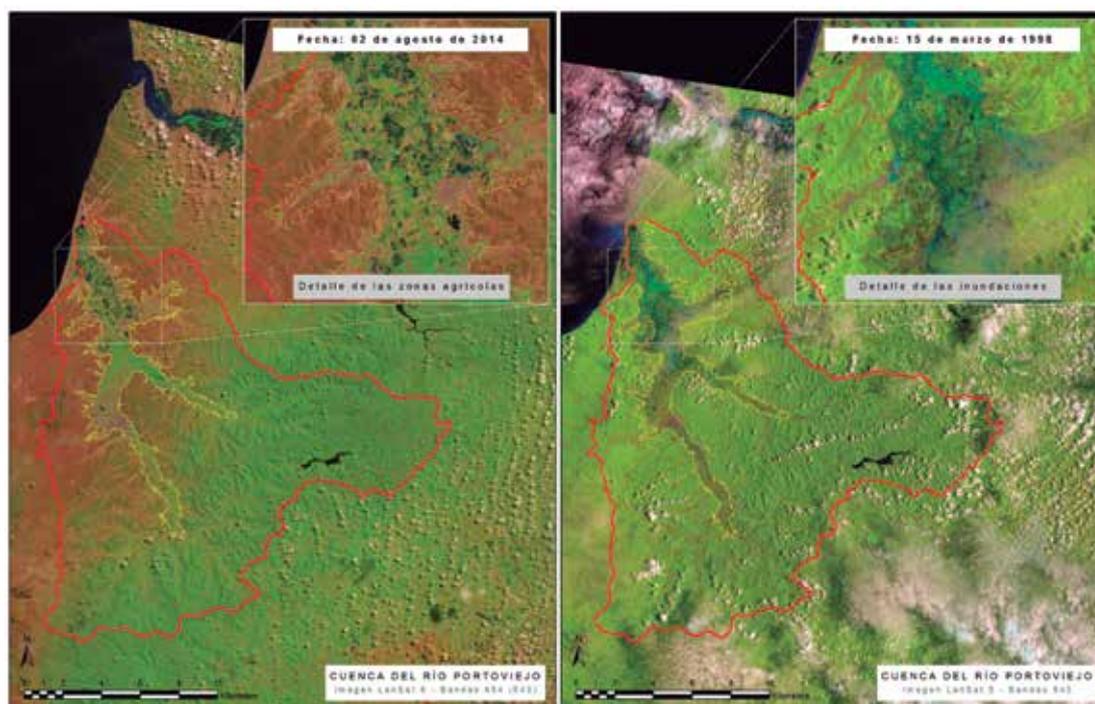


Figura 9. Comparación de las zonas bajas de la cuenca del río Portoviejo: en condiciones normales de precipitación (izquierda), y afectada por las inundaciones y deslizamientos ocasionados por lluvias excepcionales durante El Niño 97/98 (derecha).

5. CONCLUSIONES

El IESP y su análisis a través del uso de sofisticadas herramientas geoestadísticas disponibles en los Sistemas de Información Geográfica, demostró ser un instrumento acertado para el estudio de la dinámica espacio-temporal de eventos climáticos extremos históricos en importantes sistemas hidrográficos de Ecuador y de la región. En la consolidación de un sistema de alerta temprano ante eventos climáticos extremos, específico para la cuenca del río de Portoviejo, es importante realizar seguimiento a las tendencias de las distintas variables macroclimáticas con el fin de evaluar situaciones de vulnerabilidad y riesgo, generadas por un muy probable escenario de intensificación de su condición seca actual, o bien por la potencial ocurrencia de un evento El Niño, y hasta por una alternancia de ambos.

En su boletín del 11 de mayo, la NOAA (2015) informa sobre la presencia de anomalías en dos áreas específicas del Pacífico: de +2,3 °C para la región *Niño* 1+2 y de +1,2 °C para la *Niño* 4, condición que pudiera extenderse por varios meses. Sobre la base de los resultados del presente

trabajo, se puede inferir entonces que, para la cuenca del río Portoviejo existe la posibilidad real de la ocurrencia potencial de una estación de lluvia, presumiblemente breve, pero con precipitaciones especialmente intensas producto de la presencia de aguas superficiales cálidas en las costas del Ecuador. A su vez, la presencia de aguas superficiales anormalmente cálidas en la región *Niño* 4 del Pacífico pudiera traducirse, en una posterior intensificación de la condición seca y que ha afectado la cuenca del río Portoviejo, de manera persistente, por los últimos años.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Programa Prometeo de la SENESCYT. De igual manera, es importante resaltar el apoyo de la Unidad de Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y del Departamento Central de Investigación, ambos de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí en Manta, así como de la UniSIG del Centro de Ecología del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Venezuela.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carvajal, J. & Rodríguez, F. (2010).** Sistematización de prácticas para el aprovechamiento de Recursos Naturales en la cuenca del Chone. Documento FAO TCP/RLA/3217. Roma, 79p.
- Cedeño, J. & Donoso, M.C. (2010).** Atlas Pluviométrico del Ecuador. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°21. UNESCO.
- Corporación Andina de Fomento - CAF. (2000).** El fenómeno El Niño 1997-1998. Memoria, Retos y Soluciones. Vol. IV: Ecuador. 304p.
- CRM-INERHI-CONADE-OEA (1991).** Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Manabí - Resumen Ejecutivo. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente, Organización de los Estados Americanos. Washington, D.C. 30p.
- Doesken, N.J., McKee, T.B. & Kleist, J. (1991).** Development of a surface water supply index for the western United States. Climatology Report Number 91-3, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Donoso, M.C., Vargas, C., Castellero, M., Martínez, D., Leaman, K. & Nakayama, N. (2001).** Panama Canal case study: impacts and responses to the 1997-1998 El Niño. In "Once burned, twice shy? Lessons learned from the 1997-1998 El Niño". Editado por M. Glantz. UNEP-1063, 147-158.
- Edwards, D.C. & McKee, T.B. (1997).** Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology Report Number 97-2, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Farrow, A. (2009).** Spatial analysis of social vulnerability to the El Niño phenomenon in Ecuador: producing an assessment of vulnerability. Tesis de Doctorado. School of Environmental Sciences, University of East Anglia. 443p.
- Gómez, G., Rossel, F. & Clairet, S. (1996).** Regionalización de la pluviometría anual del Ecuador para el estudio del impacto del ENSO en los regímenes pluviométricos. Serie INSEQ N° 2. Ministerio de Energía y Minas Cooperación Franco-Ecuatoriana. 57p.
- Hernández, F. & Zambrano, E. (2007).** Inicio, Duración y Término de la Estación Lluviosa en Cinco Localidades de la Costa Ecuatoriana. Acta Oceanográfica del Pacífico 14(1), 7-11.
- Hurtado Pidal, J. & Suntaxi Aluisa, F. (2013).** Regionalización climática (preliminar) del litoral ecuatoriano, utilizando 3 metodologías para la agrupación de zonas/estaciones homogéneas, en torno al proyecto índices – ENOS. Proyecto INDICES – ENOS. SENE CYT – INAMHI. 61p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2012).** Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582p.
- IPCC (2014).** Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 688p.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAHMI. (2000).** Análisis del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en el Ecuador. Comité Nacional sobre el Clima GEF-PNUD. Proyecto ECU/99/G31 Cambio Climático. Ministerio del Ambiente, Quito, Ecuador. 77p.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. & Kleist, J. (1993).** The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on

Applied Climatology, January 17–22, Anaheim, California. pp179–184.

McKee, T.B., Doesken, N.J. & Kleist, J. (1995). Drought monitoring with multiple time scales. 9th Conference on Applied Climatology, January 15–20, Dallas, Texas. pp233–236.

National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA (2015). ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions. Boletín del 11 de mayo del 2015. En línea: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf.

Ochoa, A., Pineda, L., Crespo, P. & P. Willems (2014). Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates and WRF retrospective precipitation simulation over the Pacific–Andean region of Ecuador and Peru. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18:3179–3193.

Pourrut, P. & Nouvelot, J.F. (1995). Anomalías y fenómenos climáticos extremos. Artículo V. En: *El agua en el Ecuador. Clima, precipitaciones, escorrentía*. Pourrut, P. (Ed.) *Estudios de Geografía 7*. Corporación Editora Nacional, Quito. 67p.

Proyecto de Adaptación al Cambio Climático – PACC (2009). Estudio de vulnerabilidad actual a los riesgos climáticos en el sector de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Paute, Jubones, Catamayo, Chone, Portoviejo y Babahoyo. Ministerio del Ambiente. Quito, Ecuador. 199p.

Rossel, F. (1997). Influencia de El Niño sobre los regímenes hidroprecipitométricos del Ecuador. Serie INSEQ N° 18. Tomo III. Inundaciones y Sequías. Cooperación Franco-Ecuatoriana Ministerio de Energía y Minas. 72p.

Sanz Donaire, J.J. (2007). El índice xerocórico. Un indicador geográfico de la sequía pluviométrica (España y Polonia). *Estudios Geográficos*, 206: 679-708.

SENPLADES (2010). Agenda Zonal para el Buen Vivir – Propuesta de Desarrollo y Lineamientos para el Ordenamiento Territorial. Zona de Planificación 4: Provincias de Manabí y Santo Domingo de los Tsáchilas. 98p.

Sokal, R. R. & F. J. Rohlf. 2012. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. 4ta edición. W. H. Freeman and Co.: New York. 937 pp.

Thielen D., Cevallos J., Erazo T., Zurita I., Figueroa J., Velásquez G., Matute N., & Quintero J. (2015). Dinámica espacio-temporal de las precipitaciones en la cuenca del río Portoviejo, Manabí, durante el evento de El Niño 97/98. *Revista de Climatología* (aceptado).

Zevallos, O. (2004). Proyecto gestión del riesgo ENSO en América Latina. Investigación Comparativa, Información y Capacitación desde una Perspectiva Social. Patrones y procesos de configuración - Ecuador. Informe técnico final. Escuela Politécnica Nacional-La Red-IAI. Quito, Ecuador. 101p.