

Posibilidades de implementación de un sistema de indicadores para la gestión de sequías en la Demarcación Hidrográfica de Manabí – Ecuador

Ing. Yeriel Elizabeth Zambrano Mera, Mg., Docente carrera de Medio Ambiente
ESPAM MFL, Agosto 2015.

RESUMEN

En Ecuador, Manabí es una de las provincias más afectadas por las sequías. Las Naciones Unidas ratifica este hecho, y también la considera como una de las provincias más afectadas por la desertificación. Además basándose en la intensidad del déficit hídrico se estableció que es una zona potencialmente expuesta al evento. La necesidad de prever las sequías es fundamental para evitar que produzcan graves consecuencias. Para esto los gestores utilizan herramientas que permiten monitorear constantemente las condiciones del evento y anticiparse al mismo, como son los índices de sequía.

En el presente estudio, se han seleccionado tres índices de sequía: el Standardized Precipitation Index, SPI; el Palmer Drought Severity Index, PDSI; y el índice de Estado, I.e.; desarrollado por McKee et al. 1983, Palmer 1965 y CHJ 2000, respectivamente. Estos índices fueron aplicados en la Demarcación hidrográfica de Manabí, misma que fue dividida en tres zonas: Zona Norte, Zona Centro y Zona Sur. El análisis de los índices se rigió al periodo 1964 - 2012 (48 años).

Los resultados obtenidos de la aplicación del SPI fueron validados con los registros de prensa que abordan el tema de sequía en la zona de estudio, lo cual permitió establecer la relación entre lo calculado y lo observado. El SPI, reflejó los eventos de sequía acontecidos en la demarcación. En cuanto al I.e., este muestra que los volúmenes de los embalses no alcanzan su nivel mínimo. Finalmente se contrastaron los resultados del Índice de Precipitación Estandarizada con los resultados de los índices climáticos.

INTRODUCCIÓN

La sequía es un fenómeno natural que afecta mucho más que cualquier otro desastre natural. Los períodos de sequía pueden ser de corto a largo plazo, estos períodos pueden implicar drásticas consecuencias para el medio ambiente, la agricultura, la economía y la sociedad. Los efectos varían dependiendo de la vulnerabilidad.

La causa inicial de toda sequía es la escasez de precipitaciones (sequía meteorológica) lo que deriva en una insuficiencia de recursos hídricos (sequía hidrológica) necesarios para abastecer la demanda existente. Por ello, no hay una definición de sequía universalmente aceptada, pues difiere de un lugar a otro, e incluso cada usuario del agua tiene su propia concepción. La literatura científica contempla más de 150 definiciones de sequía diferentes.

En los últimos años, se han observado sequías intensas a gran escala, que afectan a grandes zonas a nivel mundial, de allí el creciente interés por desarrollar y aplicar indicadores de sequías que permitan monitorear constantemente las condiciones del evento y proporcionar información actualizada sobre regiones afectadas.

Además diversos estudios se han realizado para establecer si existen vínculos entre los eventos climáticos El Niño - Oscilación del Sur (El Niño-Southern Oscillation, ENSO) y las anomalías del clima; con el fin de ayudar a la predicción de sequías, inundaciones y tormentas tropicales (huracanes).

En las últimas décadas Ecuador ha incurrido en pérdidas de más de \$ 4 mil millones por causa de la sequía, una de las provincias más afectadas por el evento es Manabí, con cuatro sequías en doce años desde 1988. En el 2009 las pérdidas en el sector agrícola alcanzarían la cifra de \$ 262 millones. Situación que motiva a la realización de esta investigación.

Hay que señalar que la información sobre las sequías en Ecuador es sumamente limitada, sólo hay registros de este evento a partir del año 1988. La ejecución del estudio se vio condicionada a la información disponible y a la consecuente generación de la misma.

La presente investigación tiene como objetivo general estudiar las posibilidades de implementar un sistema de indicadores para la gestión de sequías en la

Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador. Para ello será necesario dar cumplimiento a los siguientes objetivos específicos:

Analizar datos climatológicos históricos para establecer las características climáticas del ámbito de estudio y aplicar los índices de sequía; Standardized Precipitation Index (SPI), Palmer Drought Severity Index (PDSI) e Índice de Estado (I.e) para evaluar la sequía meteorológica, agrícola y operativa respectivamente.

Validar los resultados del Standardized Precipitation Index, SPI; con los registros de prensa que abordan el tema de sequía en el ámbito de estudio. Finalmente contrastar los índices aplicados con los índices climáticos Southern Oscillation Index, SOI y Sea Surface Temperature, SST; para establecer la relación entre los eventos climáticos ENSO y la manifestación de la sequía en la Demarcación Hidrográfica de Manabí (DHM).

DESARROLLO

METODOLOGÍA

Para la ejecución de la presente investigación se establecieron cuatro fases, mismas que permitieron dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados. El análisis de la sequía se rigió al periodo octubre/1964-septiembre/2012.

Para el desarrollo de la investigación se dividió el área de estudio “Demarcación Hidrográfica de Manabí”, en tres zonas denominadas: Zona Norte, Zona Centro y Zona Sur. La zona centro fue a su vez subdividida en dos cuencas (cuena del río Chone y cuena del río Portoviejo) y tres subcuencas (subcuena del río Carrizal, subcuena del río Chico y subcuena cabecera del río Portoviejo) hidrográficas. La subcuena del río Carrizal está ubicada en la cuena del río Chone, mientras que las subcuencas restantes forman parte de la cuena del río Portoviejo. Para un mejor análisis de los resultados, dichas zonas se codificaron:

ZONA	CÓDIGO
Zona centro de la D.H.M.	1000
Cuenca del río Chone	1001
Subcuena del río Carrizal	1001.01
Cuenca del río Portoviejo	1002
Subcuena del río Chico	1002.01
Cabecera río Portoviejo	1002.02
Zona Norte de la D.H.M.	2000
Zona Sur de la D.H.M.	3000

Tabla 1: Codificación de zonas de estudio

Fase 1: Revisión y selección de índices de sequía

La fase 1 consistió en la revisión de los índices de sequía utilizados a nivel mundial para la posterior selección de los indicadores a aplicar. Los índices escogidos fueron el Standardized Precipitation Index (SPI); el Palmer Drought Severity Index (PDSI) y el Índice de Estado (I.e.). La fase 1 también se dedicó a la recopilación de los datos, a la caracterización de las condiciones climáticas y a la identificación de los periodos secos en el ámbito de estudio.

Fase 2: Aplicación de los índices de sequía

Los datos utilizados en la fase 2, fueron: series históricas de precipitación y temperatura media mensual generadas por el Modelo Distribuido PATRICAL (cálculo del SPI) y la simulación hidrológica del Modelo Agregado de Temez realizada a la subcuenca del río Carrizal, subcuenca del río Chico y subcuenca cabecera del río Portoviejo- (cálculo del PDSI). Así mismo se obtuvieron datos de los embalses Poza Honda y La Esperanza-.

La aplicación del SPI, incluyó el uso del software SPI_SL_6 creado por el National Drought Mitigation Center de la Universidad de Nebraska Lincoln.

Además se utilizó el Modelo Distribuido PATRICAL para la generación de mapas de SPI.

Fase 3: Validación de los resultados

Para la fase 3 se utilizaron los registros de prensa que abordan el tema de sequía en la zona de estudio. Los registros se obtuvieron del Sistema de Inventario de Desastres (DesInventar).

Fase 4: Contraste de los índices de sequía con índices climáticos

La cuarta y última fase del estudio, se desarrolló mediante el uso de las series mensuales del Índice de Oscilación del Sur (Southern Oscillation Index, SOI); y de la Temperatura Superficial del Mar (Sea Surface Temperature, SST).

Revisión y selección de índices de sequía

La revisión comprendió todas las actividades relacionadas con la búsqueda de información referente a los índices de sequía desarrollados y aplicados a nivel mundial para monitorear el evento y anticiparse al mismo.

Los índices seleccionados fueron: el Índice de Precipitación Estandarizado (Standardized precipitation Index, SPI), el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (Palmer Drought Severity Index, PDSI) y el Índice de Estado (I.e.), desarrollado por Mckee et al, 1993, Palmer 1965 y CHJ 2000; respectivamente.

Para establecer las características climáticas de la D.H.M se analizaron las series de precipitación y temperatura generadas por PATRICAL. El análisis

comprendió el periodo octubre/1964-septiembre/2012. La evapotranspiración potencial (ETP), se tomó de la simulación hidrológica. Los periodos secos en la demarcación fueron identificados partiendo de la precipitación mediana anual, así los periodos que registraron una precipitación por debajo de la mediana han sido considerados periodos secos.

Aplicación de los índices de sequía

Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)

El cálculo del SPI se efectuó a escalas 3, 6, 12 y 24 meses. Dicho cálculo se basó en las series de precipitación media mensual generadas por el Modelo Distribuido PATRICAL para el periodo 1964-2014.

Estas series se ajustaron a una distribución de probabilidad y a continuación se transformaron en una distribución normal. La distribución de probabilidad utilizada fue la log normal, esto se estableció después de computar varias distribuciones (normal, raíz, log normal y gamma).

Posterior a ello se procedió a la obtención de valores del SPI, mediante la fórmula propuesta por (McKee, Doesken et al. 1993).

$$SPI = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{\sigma_i}$$

Donde:

- X_{ij} : Precipitación de la estación observada y observación histórica
- \bar{X}_i : Precipitación media de la estación observada
- σ_i : Desviación estándar de la estación observada

Considerando la magnitud del cálculo (5 escalas de tiempo y 3 zonas de estudio) se optó por la utilización del software SPI_SL_6 creado por el National Drought Mitigation Center de la universidad de Nebraska Lincoln. Previo a ello fue necesario calcular mediante la fórmula descrita anteriormente el SPI de 1 mes, para correlacionarlo con el SPI (1 mes) resultante de la aplicación del software, ya que este ajusta la serie histórica de precipitaciones a la distribución gamma.

Se establecieron las clases de sequía acontecidas en el D.H.M; usando el

sistema de clasificación presentado por (McKee, Doesken et al. 1993), mostrado en la *Tabla 4* de este documento.

Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI)

Para el cálculo del PDSI, se aplicó la versión planteada para el Modelo Hidrológico Agregado de Témez, para ello fue necesario utilizar la simulación hidrológica realizada a la subcuenca del río Carrizal, subcuenca del río Chico y subcuenca cabecera del río Portoviejo. En la versión de Témez el Escurrimiento Potencial (PRO) es igual a la Humedad del suelo en el mes considerado (Hi). A esta formulación se le realizó una modificación; siendo ahora, el PRO igual a 3 veces la Precipitación (P) menos la Recarga Potencial (PR) ($PRO = 3 \cdot P - PR$). Este cambio se fundamenta de la siguiente manera: (Palmer 1965) define que PRO es igual a la Capacidad de Agua Disponible (AWC) menos la Recarga Potencial ($PRO = AWC - PR$). Sin embargo él reconoció que este planteamiento no es una manera particularmente elegante de manejar el problema y redefinió AWC como tres veces la precipitación normal para el mes; y mencionó que aunque este seguirá siendo un enfoque bastante arbitrario, al menos, reconoce que la P y la AWC son términos relacionados. Se empleó la clasificación de sequías de Palmer 1965 para definir los eventos ocurridos en la demarcación.

Índice de Estado (I.e.)

El Índice de Estado fue aplicado en la cuenca del río Chone (cuenca hidrográfica de la Zona Centro), en el embalse La Esperanza. Los datos utilizados fueron los volúmenes históricos registrados, en el periodo 2005-2012.

Validación de los resultados

Los resultados obtenidos de la aplicación del SPI (representados en mapas) fueron validados con los registros de prensa que abordan el tema de sequía en la demarcación.

Esto se realizó para establecer la relación entre los eventos que refleja el índice y los eventos históricos suscitados. Los registros de prensa se obtuvieron del Sistema de Inventario de Desastres (DesInventar).

Contraste de índices de sequía con índices climáticos

El contraste comprende la última fase de la investigación. Este consiste en la comparación de los resultados obtenidos de la aplicación del SPI, con los resultados de los índices climáticos (Southern Oscillation Index, SOI; y Sea Surface Temperature, SST). Esto con el fin de establecer si existe relación entre los eventos climáticos El Niño - Southern Oscillation, ENSO; con la manifestación de la sequía en la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador.

Los datos del SOI y la SST comprenden el periodo 1951-2014 y 1982-2014, respectivamente, los mismos fueron descargados de la página web de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El objetivo general de la presente investigación, es estudiar las posibilidades de implementar un sistema de indicadores para la gestión de sequías en la Demarcación Hidrográfica de Manabí. Para ello fue necesario caracterizar las condiciones climáticas y aplicar índices de sequía para reflejar los eventos del fenómeno.

El ámbito de estudio fue dividido en tres zonas denominadas: Zona Norte, Zona Centro y Zona Sur. La Zona Centro fue a su vez subdividida en dos cuencas (cuenca del río Chone y cuenca del río Portoviejo) y tres subcuencas (subcuenca del río Carrizal, subcuenca del río Chico y subcuenca cabecera del río Portoviejo) hidrográficas. Dichas divisiones y subdivisiones fueron codificadas para un mejor análisis de los resultados.

En la primera etapa de la investigación se analizaron las series de precipitación y temperatura generados por PATRICAL (periodo octubre/1964 - septiembre/2012); y se identificó que la precipitación y temperatura varían en función de las estaciones (lluviosa y seca). El análisis efectuado permite concluir que la temporada lluviosa se puede extender de 12 a 15 meses cuando se presenta el fenómeno de El Niño. En contraste cuando se presentan condiciones sequía este mismo periodo puede ser seco.

Los resultados obtenidos indican que la Zona Norte (2000) registra 10 ciclos secos, teniendo estos una duración desde 1 a 5 años. Los ciclos secos de

mayor duración (5 años) se presentaron en los periodos 1966/67 -1970/71 y 1977/78-1981/82.

Los resultados de la Zona Centro (1000), subdividida en dos cuencas y tres subcuencas hidrográficas, revelan que: La cuenca del río Chone (1001) presenta diez ciclos secos, con un rango de duración de 1 a 5 años. Los periodos más representativos fueron 1967/68 - 1970/71 (4 años), 1977/78 - 1981/82 (5 años) y 2002/03 - 2004/05 (5 años). La cuenca del río Portoviejo (1002) presenta las mismas condiciones que la cuenca del río Chone, difiriendo solo en la duración del ciclo seco en el periodo 1967/68 – 1970/71 que registran únicamente dos años de permanencia.

La Zona Sur (3000) al igual que en las zonas 1000 y 2000, el primer ciclo seco se registró en el periodo 1967/68-68/69. Sin embargo difiere de estas en el final del ciclo, ya que en esta zona el último evento seco se registró en el periodo 2010-2011. La duración de los eventos oscila de 1 a 6 meses.

Se concluye por tanto que en la demarcación los eventos secos se han presentado en los mismos periodos y con duraciones similares

En la segunda etapa del estudio se aplicaron los índices seleccionados (Standardized precipitation Index, (McKee, et al.) Palmer Drought Severity Index (Palmer 1965) e Índice de Estado (CHJ, 2000)). Los resultados de la aplicación del SPI indican que el mayor evento de sequía en la demarcación se presentó en el periodo 1977/78-1981/82, produciéndose este en el año 1982. Iguales resultados refleja el PDSI.

El SPI reflejó la sequía en las zonas de estudio antes que el PDSI. Esto se debe a que el SPI es un índice de sequía meteorológica basado únicamente en registros de precipitación y por tanto el aumento o disminución de esta se verá reflejada en los resultados. En cuanto a los valores extremos hay que considerar que la escala del PDSI es más amplia que la del SPI. Así cuando el SPI indique sequía extrema ($< - 2$) el PDSI recién alcanza esa clase cuando presente un valor $< - 4$. Considerando que en la provincia de Manabí, el sector más afectado por la sequía es el agropecuario, se concluye que el PDSI es un indicador útil para monitorear el evento.

En cuanto a la aplicación del Índice de Estado en el embalse La Esperanza de

la Zona Centro de la demarcación, los registros indican que los volúmenes mínimos embalsados (I.e: 0.0) respecto al histórico, se presentaron en los años 2005, 2007 y 2010. Sin embargo estos valores mínimos no han alcanzado el volumen útil del embalse. Esto indica que el embalse dispone de agua para la satisfacción de las demandas. Razón por la cual se optó por simular el comportamiento histórico del embalse mediante un modelo de gestión. Los resultados demuestran que en el periodo 1981-1982 se hubiese registrado el volumen mínimo del embalse. Por lo tanto se concluye que el I.e., no es un buen indicador de sequía para la DHM.

Los resultados de la validación (contraste de mapas de SPI y registros históricos de prensa que abordan el tema de la sequía en Manabí, indican que dicho índice refleja las sequías presentadas en el ámbito de estudio. También se estableció (mediante correlación cruzada) que el SPI de 12 y el SPI tienen comportamientos similares. Por todo lo expuesto se concluye que el SPI y el PDSI se pueden implementar como indicadores para la gestión de la sequía en la Demarcación Hidrográfica de Manabí.

En la tercera etapa se contrastaron los resultados del SPI (3, 6, 12 y 24 meses) y los índices climáticos SOI y SST (región 1+2, 3.4 y 4) en las épocas lluviosas y secas, para establecer la relación entre estos y los eventos ENSO. Los resultados indican una correlación baja entre el SPI y el SOI, todo lo contrario sucede con la SST en la región 1+2 (costas de Perú y Ecuador) ya que se obtiene una correlación superior al 65%. Se concluye por tanto que el SOI no es un buen indicador de la sequía en la demarcación hidrográfica de Manabí, y se establece la SST 1+2 como un indicador de eventos ENSO en la demarcación

BIBLIOGRAFÍA

- Alley, W. M. (1984). "The Palmer drought severity index: limitations and assumptions." Journal of climate and applied meteorology **23**(7): 1100-1109.
- Chiew, F. H., et al. (1998). "El Nino/Southern Oscillation and Australian rainfall, streamflow and drought: Links and potential for forecasting." Journal of Hydrology **204**(1): 138-149.
- Estrela, T. (2006). "La gestión de las sequías en España." INGENIERÍA Y TERRITORIO. 74: 52.
- Gumbel, E. (1963). "Statistical forecast of droughts." Hydrological Sciences Journal **8**(1): 5-23
- Hewitt, K. (1997). Regions of risk: A geographical introduction to disasters, Longman London.
- Hudson, H. and R. Hazen (1964). "Droughts and low streamflow." Handbook of applied hydrology.
- McKee, T. B., et al. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society Boston, MA.
- Mishra, A. K. and V. P. Singh (2010). "A review of drought concepts." Journal of Hydrology **391**(1): 202-216.
- Palmer, W. C. (1965). Meteorological drought, US Department of Commerce, Weather Bureau Washington, DC, USA.
- Palmer, W. C. (1968). "Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index."
- Wells, N., et al. (2004). "A self-calibrating Palmer drought severity index." Journal of Climate **17**(12): 2335-2351.