



Tecnura

ISSN: 0123-921X

tecnura@udistrital.edu.co

Universidad Distrital Francisco José de

Caldas

Colombia

González López, Nathalia; Carvajal Escobar, Yesid; Loaiza Cerón, Wilmar
Análisis de sequías meteorológicas para la cuenca del río Dagua, Valle del Cauca,
Colombia

Tecnura, vol. 20, núm. 48, abril-junio, 2016, pp. 101-114
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257046835008>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Análisis de sequías meteorológicas para la cuenca del río Dagua, Valle del Cauca, Colombia

Analysis of meteorological drought for Dagua river basin, Valle del Cauca, Colombia

Nathalia González López¹, Yesid Carvajal Escobar²,
Wilmar Loaiza Cerón³

Fecha de recepción: 21 de agosto de 2015

Fecha de aceptación: 15 de febrero de 2016

Cómo citar: González López, N., Carvajal Escobar, Y., & Loaiza Cerón, W. (2016). Análisis de sequías meteorológicas para la cuenca del río Dagua, Valle del Cauca, Colombia. *Revista Tecnura*, 20(48), 101-113. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.2.a07

Resumen

Contexto: Los eventos climáticos extremos ocasionan grandes retos para la sostenibilidad social, económica y medioambiental, de una región, como es el caso de las sequías que afectan significativamente las actividades agrícolas, aumentando el riesgo de la subsistencia y la seguridad alimentaria de la población rural, principalmente de países en desarrollo. Este estudio tuvo como objetivo caracterizar las sequías meteorológicas en la cuenca del río Dagua, Valle del Cauca.

Método: Se estimó la intensidad, magnitud, duración y frecuencia de eventos de sequía mediante el uso del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) para agrupaciones semestrales y anuales, usando el registro de 19 estaciones en el período comprendido entre 1982-2011

Resultados: Al menos una sequía fue identificada en cada serie, mientras el área próxima a la región subxerofítica de la cuenca, presentó mayor frecuencia

de sequías extremadamente fuertes y los menores umbrales de precipitación mínima; el mayor porcentaje de cobertura espacial coincidió con la ocurrencia de eventos del fenómeno El Niño, tales como los ocurridos en 91-92 y 09-10.

Conclusiones: Los resultados obtenidos sirven como aproximación para la predicción y caracterización de las sequías, y ofrecen insumos para generar estrategias de planificación y mitigación de sus impactos.

Palabras clave: Cuenca del río Dagua, Fenómeno El Niño Oscilación del Sur, Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), Sequías meteorológicas.

Abstract

Context: Extreme climatic events causes great challenges for social, economic and environmental sustainability of a region. Droughts affect agricultural activities significantly thus endangering the livelihoods and food security of rural populations, this is especially crucial for developing countries. The

1 Ing. Agrícola, Joven Investigador de COLCIENCIAS, Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente, Cali, Colombia. Contacto: Nathalia.gonzalez.lopez@correounivalle.edu.co

2 Ingeniero Agrícola, M.Sc en Suelos y Aguas, PhD en Hidráulica y Medio Ambiente, Docente de la Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente, Cali, Colombia. Contacto: yesid.carvajal@correounivalle.edu.co

3 Geógrafo, M.Sc. en Desarrollo Sustentable. Doctorado em clima e ambiente (c), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) & Universidade do Estado do Amazonas, Ciudad Manaus, Estado de Amazonas. Brasil. Contacto: wilmar.ceron@correounivalle.edu.co

objective of this study is to characterize meteorological drought in Dagua river basin, Valle del Cauca. Method: Intensity, magnitude, duration and frequency of drought events was estimated using the Standardized Precipitation Index (SPI), for semi-annual and annual groupings with records of 19 stations, during the period 1982-2011

Results: At least one drought was identified in each series; the area near to the subxerofític Basin region, exhibits more frequency of extremely strong drought and lower threshold of minimum precipitation;

the largest percentage of spatial coverage of drought coincides with El Niño phenomena events, such as those that occurred in 91-92 to 09-10.

Conclusions: The results obtained provide an approach for prediction and characterization of drought, and offer inputs to generate strategies for planning and mitigation of their impacts.

Keywords: Watershed Dagua river, El Niño/Southern Oscillation (ENSO), Standardized Precipitation Index (SPI), Meteorological droughts.

INTRODUCCIÓN

Las fluctuaciones climáticas que se han observado en diversas regiones del planeta están siendo objeto de interés, debido principalmente al aumento en la frecuencia y severidad de desastres socio-naturales y a su impacto directo en la producción agrícola. De acuerdo con el *Informe sobre desarrollo humano*, del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2014), en promedio 200 millones de personas se ven afectadas cada año por desastres naturales, la mayor parte de ellas en países en desarrollo. En el último siglo más de 2000 millones de personas han sufrido a causa de sequías y 11 millones han perdido la vida como consecuencia de sus efectos (Kaipper, 2013).

Las sequías es uno de los fenómenos más dañinos relacionados con el clima, y a diferencia de las inundaciones, los huracanes, los tornados y los terremotos, que se producen durante períodos limitados de tiempo y resultan en perjuicios visualmente obvios, el desarrollo de las sequías ocurre lentamente y en forma inapreciable, por lo que a menudo pasan desapercibidas hasta que la escasez de precipitaciones se vuelve severa y los impactos en los ecosistemas naturales y las actividades humanas comienzan a ocurrir. Este fenómeno causa serios daños a la

economía de un país, especialmente al sector agrícola y aquellos que dependen directamente de los recursos hídricos (Ding, Hetes y Windhalm, 2011; Wagner, Ortiz y Barragán, 2012); adicionalmente, se debe prestar atención particular a los posibles incendios forestales y al incremento en la erosión del suelo, que a su vez reduce la capa fértil de este, la capacidad de crecimiento de las plantas y provoca un aumento en la deposición de sedimentos, y por tanto, en la turbiedad de los ríos.

Las sequías ocurren en casi todas las zonas climáticas, tanto en las de alta como baja precipitación; sin embargo la variabilidad climática (VC), los distintos factores socioeconómicos y la naturaleza estocástica de la demanda agua en las diferentes regiones del mundo, impide establecer una definición precisa de la sequía (Mishra y Singh, 2010). En términos generales, la sequía se puede definir como un fenómeno temporal que resulta de la escasez o de una irregular distribución prolongada de la precipitación, la cual se encuentra ligada a anomalías océano atmosféricas como el fenómeno ENOS. Para considerar como sequía a una reducción del agua y humedad disponibles, Morales (2005) señala que se debe cumplir, entre otras, que la reducción sea temporal y significativa respecto a la cantidad normal o esperada para un período

dado; y que la reducción se defina con respecto a una *norma* y que el periodo empleado como base para la *norma* esté especificado.

De acuerdo con sus características, impactos y metodologías, suele agruparse en diferentes tipos: sequía meteorología, hidrológica, agrícola y socioeconómica; la primera hace referencia al déficit de precipitación por un periodo extendido de tiempo respecto a las condiciones climáticas normales (Bedoya, Contreras y Ruiz, 2010; Ezzine, Bouziane y Ouazar, 2014; Silva *et al.*, 2013); las demás son consecuencia de esta; por lo cual, es importante monitorearla a través de diferentes índices, y así detectar zonas vulnerables para implementar medidas de acción con el fin de reducir sus posibles impactos (Ortega, 2012). Esta investigación caracterizó las sequías meteorológicas, a partir de los parámetros de intensidad, magnitud, frecuencia, duración y cobertura espacial, obtenidos del cálculo del SPI semestral y anual, en la cuenca del río Dagua; lo cual representa un papel importante en la inserción económica de Colombia, pero muestra un deterioro progresivo, ocasionado por la ampliación de la frontera agrícola y su inadecuado manejo, la desestabilización de la oferta ambiental, la degradación de suelos, la pérdida de la calidad de agua, la contaminación y problemas sociales (Daza, Reyes y Fajardo, 2012; Cardona, Ávila, Carvajal y Jiménez, 2013), que sumados a la incidencia del fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS) podrían agravar los impactos en la economía, la sociedad y los recursos naturales.

METODOLOGÍA

La metodología se agrupó en dos actividades, la primera consistió en recopilar, procesar y analizar información meteorológica de la zona; en la segunda etapa se calcularon diferentes parámetros para caracterizar las sequías meteorológicas.

Descripción y localización de la cuenca de estudio

La cuenca del río Dagua está localizada en el pacífico vallecaucano (figura 1), tiene una extensión aproximada de 1.422 km², de los cuales el 98,2 % corresponden a zona de ladera y el 1,8 % a planicie marina (CVC, 2007). La precipitación total anual oscila entre los 2.000 y 8.000 mm en parte baja, y entre 800-1.600 mm en la parte alta, al oriente de la cuenca.

La cuenca representa un papel importante en la conectividad de Colombia con el principal puerto sobre la costa pacífica (Buenaventura) y, por tanto, para la competitividad de la industria. Sin embargo los derrumbes y deslizamientos en ocasiones afectan el tránsito de la carretera Buga-Buenaventura, y las 255.000 ton/año de lodo y sedimento, que deposita el río Dagua y sus afluentes en la Bahía, generan un alto costo de dragado del canal de acceso (PNUD, 2008). Su oferta hídrica está asociada a la ocurrencia del fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS); en su fase extrema caliente, ocasiona reducciones de la precipitación hasta en un 39 % (Gutiérrez, Carvajal y Ávila, 2013), lo que podría generar déficit del recurso. La principal actividad económica es la agricultura de secano, que sumada a la poca cobertura vegetal en la parte alta de la cuenca, y la contaminación del recurso hídrico, hacen de esta un área altamente vulnerable a la ocurrencia de eventos de sequías.

Selección, recopilación y procesamiento de la información

Los criterios para la selección de la red meteorológica fueron: ubicación, tiempo de registro, vigencia de funcionamiento, porcentaje de datos faltantes inferiores al 10 % en cada estación y que el comportamiento fuera estadísticamente confiable según el análisis exploratorio de datos (AED); este último consiste en detectar por

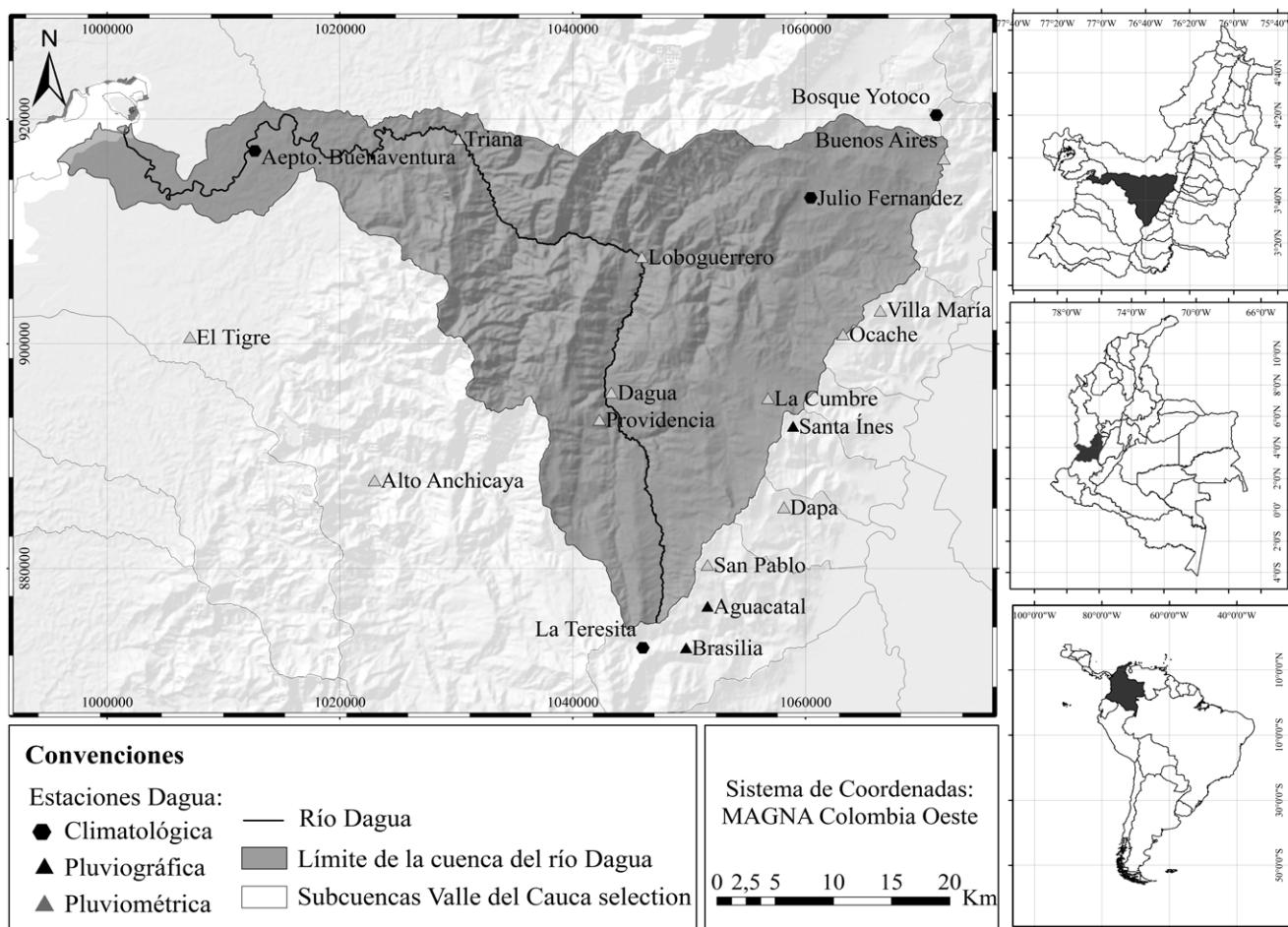


Figura 1. Localización de la cuenca y de las estaciones seleccionadas para el estudio

Fuente: elaboración propia.

medios gráficos y cuantitativos la existencia o no de alguna tendencia o cambio, y la homogeneidad de la serie. La estimación de los datos faltantes se realizó con el método de proporciones normales; posteriormente se realizó un análisis gráfico, a través de histogramas y diagramas de cajas; se hizo un análisis descriptivo numérico, por medio de medidas de tendencia central y dispersión; seguido de la prueba de normalidad y del análisis confirmatorio, mediante la prueba de U Mann Whitney que es una de las pruebas no paramétricas más utilizadas (Castro y Carvaljal, 2010).

Caracterización de las sequías meteorológicas

El SPI cuantifica el déficit o exceso de precipitación, ajustando los datos a una distribución, normalmente Gamma, para definir la relación de la probabilidad de precipitaciones y transformarla a una distribución normal estandarizada, con media cero (0) y desviación estándar uno (1) (McKee, Doesken y Kleist, 1993; Núñez, Núñez, Podestá y Skansi, 2005). Permite determinar el inicio, final, duración, intensidad, magnitud y frecuencia de las sequías, solo con datos de

precipitación; por lo que puede aplicarse en zonas con poca información, adicionalmente puede calcularse en diferentes escalas de tiempo, lo que hace apto para estudiar sequías relevantes para la meteorología, la agricultura y la hidrología superficial y subterránea (Zhai *et al.*, 2010; González y Domínguez, 2012; Zuccarelli, 2013; Asadi, Sivakumar y Sharma, 2014). Esta investigación comparó la precipitación acumulada de 6 y 12 meses de un año particular con la precipitación acumulada promedio del registro total; las series se calcularon de la suma móvil de datos de precipitación mensual de 1982 a 2011 de 19 estaciones. Se seleccionaron estas agrupaciones ya que permiten tener mayor análisis temporal del fenómeno y se pueden asociar mejor a la fase cálida del fenómeno ENOS. Una vez estandarizados las anomalías se clasifican teniendo en cuenta los valores de la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación del SPI

SPI	Categoría
Mayor a 2,0	Humedad extrema
2,0 a 1,5	Humedad severa
1,5 a 1,0	Humedad moderada
1,0 a -1,0	Cerca de lo normal
-1,0 a -1,5	Sequía suave
-1,5 a -2,0	Sequía severa
Menor a -2,0	Sequía extrema

Fuente: adaptado de Lloyd-Hughes y Saunders (2002).

Eventos, intensidades y magnitudes. Cada evento de sequía inicia cuando el índice es igual o menor a -1,00 y termina cuando se hace mayor; el valor que alcanza el SPI para cada agrupación es la intensidad del evento, y la magnitud se obtiene de la sumatoria de los valores consecutivos del SPI que indican sequía. Dado que las magnitudes pueden tomar diversos valores, se clasificaron en cinco tipos de sequía meteorológica, según el valor alcanzado, para obtener la *frecuencia de ocurrencia de cada evento*. Los rangos se calcularon de acuerdo con el

comportamiento de los datos y se muestran en la tabla 2; posteriormente se estimó el porcentaje de ocurrencia de cada una.

Tabla 2. Tipo sequías de acuerdo a la magnitud

Sequía	Semestral	Anual
Leve	$1 \leq M < 5$	$1 \leq M < 10$
Poco fuerte	$5 \leq M < 10$	$10 \leq M < 20$
Fuerte	$10 \leq M < 15$	$20 \leq M < 30$
Muy fuerte	$15 \leq M < 20$	$30 \leq M < 40$
Extremadamente fuerte	> 20	> 40

Fuente: elaboración propia.

Umbrales de precipitación. Para encontrar la lámina de lluvia (mm) que corresponde al límite mínimo para definir una sequía, se retrotrajeron los valores del SPI = -1 de las series, es decir, se determinó la ecuación característica de los valores del SPI (x) asociados al valor de la precipitación acumulada para cada agrupación (y), y se calculó la lámina de lluvia correspondiente, cuando SPI es -1. Si en una agrupación x no logra acumularse esa cantidad de lluvia, en dicha agrupación ocurriría una sequía (Hernández, 2008).

Cobertura espacial de la sequía. Para delimitar el análisis de la información obtenida, se determinó la cobertura espacial de los eventos de sequía, a partir del porcentaje de estaciones en las que se calcularon valores de SPI $\leq -1,0$ para seleccionar eventos específicos que presentaron mayor cobertura espacial para realizar un análisis más detallado.

RESULTADOS

Selección, recopilación y procesamiento de la información necesaria

Las series de precipitación mensual empleadas, de las 19 para el periodo 1982-2011, tenían menos del 10 % de DF; a partir de los histogramas

se observó que los valores extremos tienen una menor frecuencia y los diagramas de cajas indicaron que la estación Aeropuerto de Buenaventura fue la única que no presentó valores atípicos por fuera de su cerco. Las partes alta y media de la cuenca presentaron un comportamiento bimodal de las precipitaciones, es decir, dos períodos con mayor frecuencia de valores de precipitación altos (entre marzo-mayo y septiembre-noviembre) y dos períodos con precipitaciones menores (entre diciembre-febrero y junio-agosto), la figura 2b muestra un ejemplo de una de las estaciones ubicada en zona alta,

en contraste la parte baja es monomodal, donde se presentan precipitaciones todo el año (figura 2a).

Eventos de sequía, intensidades y magnitudes

En todas series se identificó al menos un evento de sequía. La figura 3 muestra un ejemplo del comportamiento de la intensidad del SPI en la estación Aguacatal, que presentó la mayor magnitud de 37,94, desde octubre-1991 hasta marzo-1993, con un pico de intensidad de -2,70 en

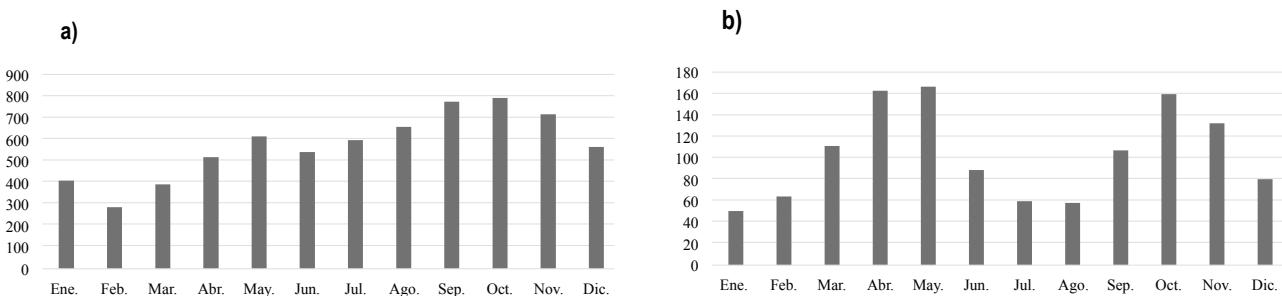


Figura 2. Precipitación media mensual mutianual. **a)** Estación Aeropuerto Buenaventura, **b)** Estación La Cumbre

Fuente: elaboración propia.

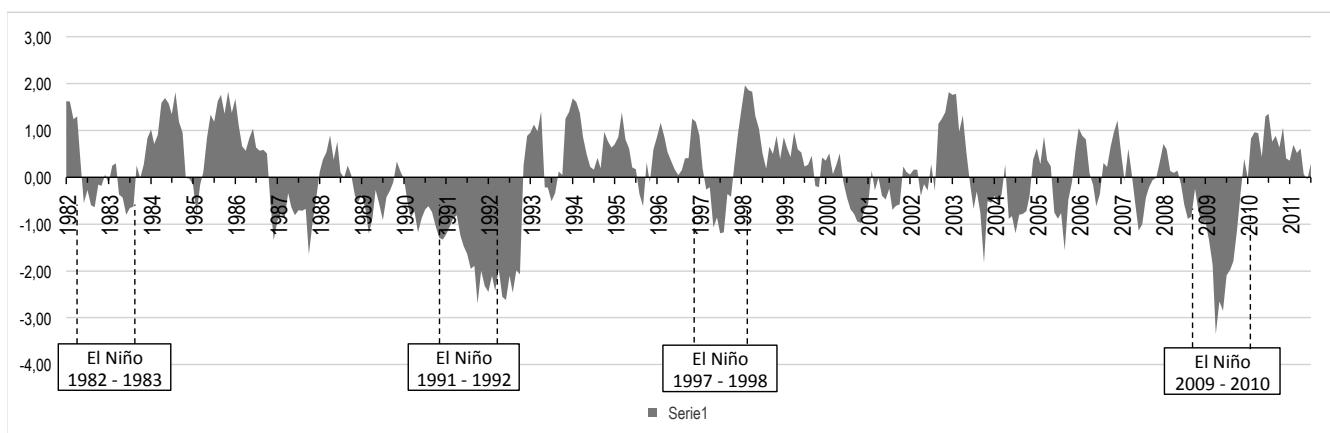


Figura 3. Transcurso del SPI semestral de 1982 a 2011 en la estación Aguacatal

Fuente: elaboración propia.

marzo-1992. Para la agrupación anual, la misma estación reportó una magnitud de 55,04 que abarcó desde febrero-1991 hasta abril-1993, con un pico de -3,17 en noviembre-1992, alcanzando la segunda magnitud más alta, antecedida por la serie de La Teresita (figura 4) en la que se calculó una magnitud de 73,64 desde

noviembre-1989 hasta abril-1993, con un pico de -2,59 en junio-1992. Es posible identificar que los eventos de sequía coinciden con años en los que según la NOAA se presentó El Niño, como: 82-83, 91-92, 97-98 y 09-10.

En las tablas 3 y 4 se muestran los cinco eventos con las magnitudes máximas para la

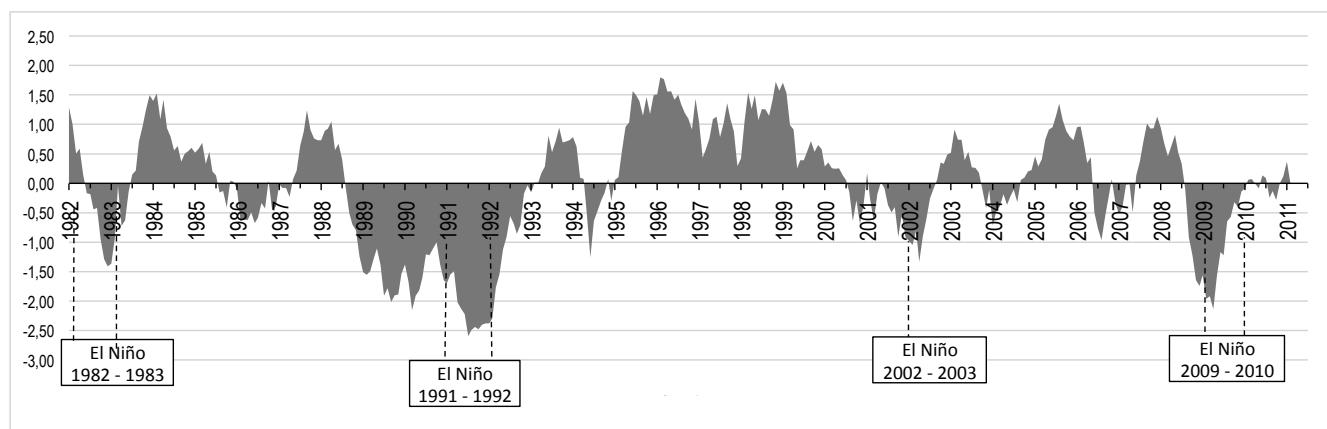


Figura 4. Transcurso del SPI anual de 1982 a 2011 en la estación Teresita

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Magnitud de los diez eventos máximos. Agrupación semestral

No.	Estación	Magnitud	Inicio	Final	Int _{máx}
1	Aguacatal	37,94	oct-91	mar-93	2,7
2	San Pablo	37,71	abr-87	jun-88	3,3
3	Brasilia	29,72	oct-91	ene-93	2,78
4	La Teresita	28,88	oct-91	ene-93	2,37
5	San Pablo	26,19	mar-91	ago-92	2,06

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Magnitud de los diez eventos máximos. Agrupación anual

No.	Estación	Magnitud	Inicio	Final	Int _{máx}
1	La Teresita	73,64	nov-89	abr-93	2,49
2	Aguacatal	55,04	feb-91	abr-93	3,17
3	El Tigre	48,25	dic-00	dic-03	1,85
4	Santa Inés	46,17	abr-09	feb-11	2,96
5	Brasilia	37,41	oct-91	mar-93	3,02

Fuente: elaboración propia.

agrupación semestral y anual respectivamente; se indica la fecha de inicio y finalización del evento, así como la máxima intensidad ($\text{Int}_{\text{máx}}$). Las mayores magnitudes no presentan necesariamente las duraciones más largas; la intensidad alcanzada influye en la magnitud final; por ejemplo, la estación Brasilia presentó una magnitud de 29,79 en 16 agrupaciones semestrales, mientras que la estación San Pablo alcanzó una magnitud de 37,71 en solo 15 semestres continuos.

Frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía

En la agrupación semestral se calcularon 304 eventos de sequía, de los 14 fueron clasificados como sequía extremadamente fuerte, es decir aproximadamente el 5 %. Para la agrupación anual se reportaron 171 eventos y solo 4 fueron extremadamente fuertes, según la clasificación de la tabla 2. Para ambas agrupaciones se evidenció que la mayor ocurrencia es de sequías leves y a medida que aumenta su magnitud sus frecuencias son menores; las sequías leves están asociadas a intensidades de moderadas a bajas y

de corta duración. Los resultados indican que el número de eventos se reduce en las agrupaciones anuales respecto a las semestrales, y estas a su vez son menores que las sequías trimestrales, estas últimas fueron calculadas por Loaiza (2014), quien en su estudio reportó 545 eventos, para el mismo periodo. Lo anterior refleja que para agrupaciones más largas se obtiene un menor número de eventos, pero estos presentan una mayor magnitud y duración. La figura 5 muestra el porcentaje de ocurrencia de las sequías según su magnitud para cada agrupación.

La distribución espacial de la frecuencia de ocurrencia proporciona información sobre el comportamiento de la reducción de la precipitación en la cuenca. Los resultados indicaron que las zonas con un mayor porcentaje de sequías leves (90 % y 100 %), no presentaban una alta frecuencia de ocurrencia de sequías fuertes, estas últimas oscilaron entre el 0 % y el 10 %. La figura 6 muestra un ejemplo de la distribución espacial de la frecuencia de ocurrencia de sequías fuertes; a partir de la cual se identificó que para la agrupación semestral (a), este tipo de sequías afectó principalmente la zona sur de la cuenca; sin embargo no superó el

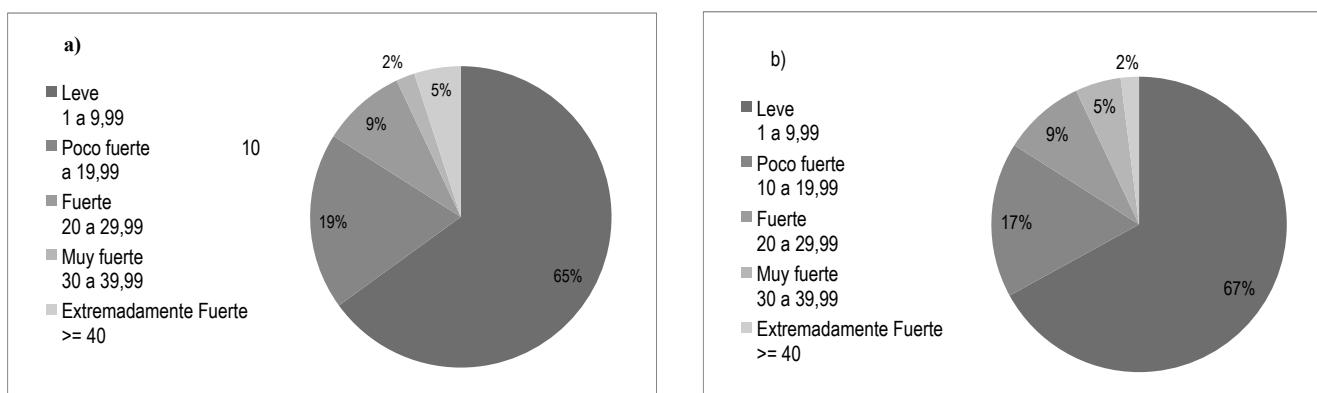


Figura 5. Frecuencia de ocurrencia de sequía según su magnitud. a) Semestral, b) Anual

Fuente: elaboración propia.

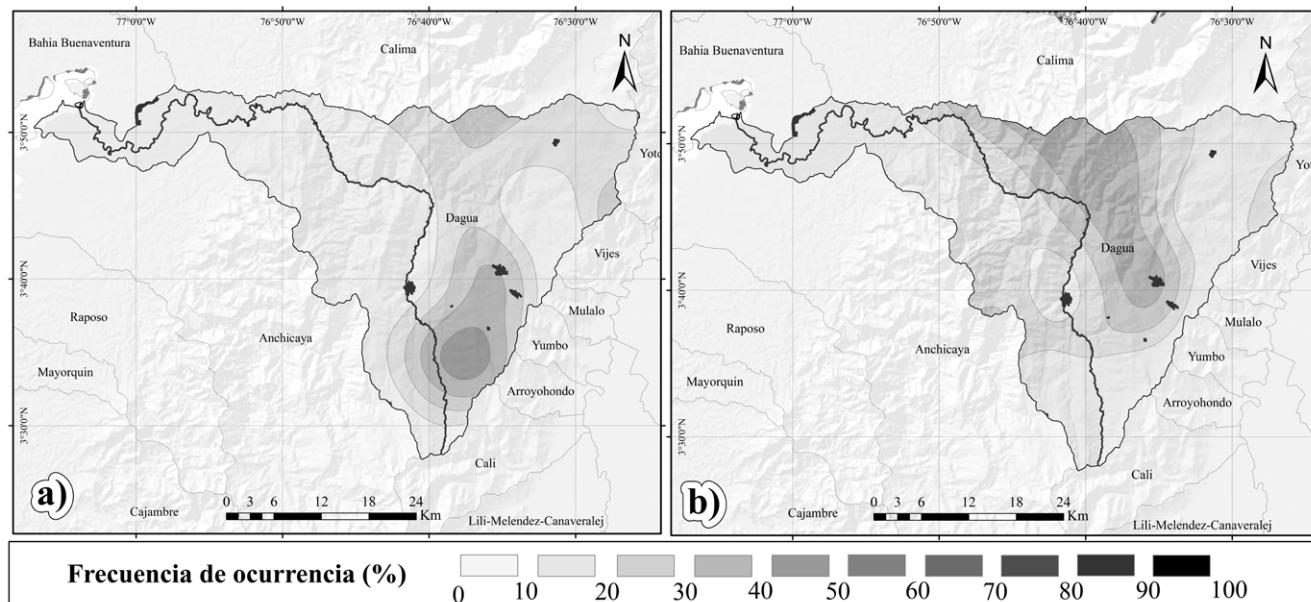


Figura 6. Frecuencia de ocurrencia (%) de sequía fuerte: **a)** Agrupación semestral, **b)** Agrupación anual

Fuente: elaboración propia.

50 % de frecuencia de ocurrencia en ninguna zona. Para la agrupación anual (b), se observaron frecuencias entre el 30 % y 40 % desde la zona norte de la cuenca hasta el centro de ésta, tal como se muestra en la figura 6b; condición que sumada a la presencia del enclave subxerofítico, hace de esta zona la más susceptible a los eventos de sequía.

El zona seca del río Dagua está al occidente de Colombia, sobre la vertiente occidental de la cordillera Occidental, si bien es un área pequeña dentro del Chocó biogeográfico, con un microclima muy seco que contrasta con la humedad de su zona de influencia, compuesta por bosques húmedos tropicales, cumple un papel importante en la regulación del clima en el ámbito local y en el mantenimiento de especies de interés especial endémicas, entre otros servicios ecosistémicos (Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon Von Neuman, 2012).

Umbrales de precipitación

Se calculó la lámina de precipitación a partir de la cual puede ocurrir una sequía; esto con el fin de proporcionar información clave para generar sistemas de alerta temprana de este fenómeno. En la figura 7 se muestra la distribución de los umbrales semestrales (a) y anuales (b), en ambas se presentó un comportamiento similar, los valores acumulados de lluvia son menores en la parte media y alta de la cuenca, y aumentan hacia la parte baja, que es la más próxima al Pacífico vallecaucano.

Cobertura espacial de la sequía

Se eligieron eventos particulares con base a la cobertura espacial que presentaron. Para la agrupación semestral se calcularon 22 eventos con un porcentaje de cobertura mayor al 53 %, de los cuales 17 corresponden a años a los que se

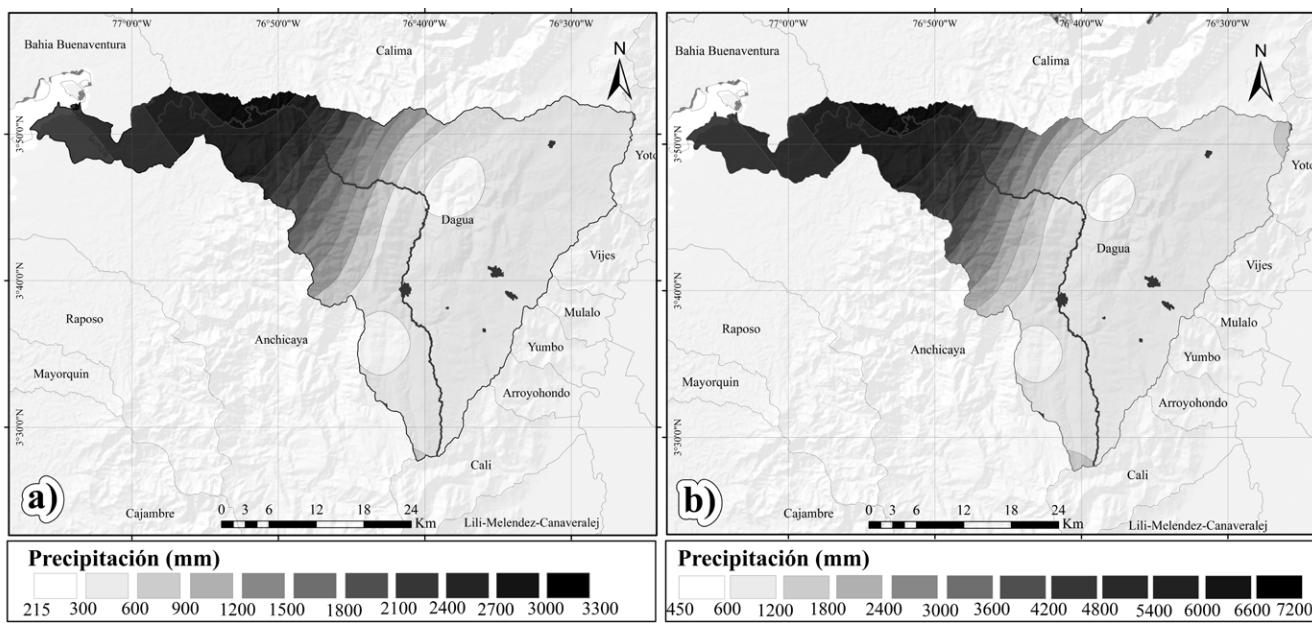


Figura 7. Umbrales de precipitación mínimos: **a)** Agrupación semestral, **b)** Agrupación anual

Fuente: elaboración propia.

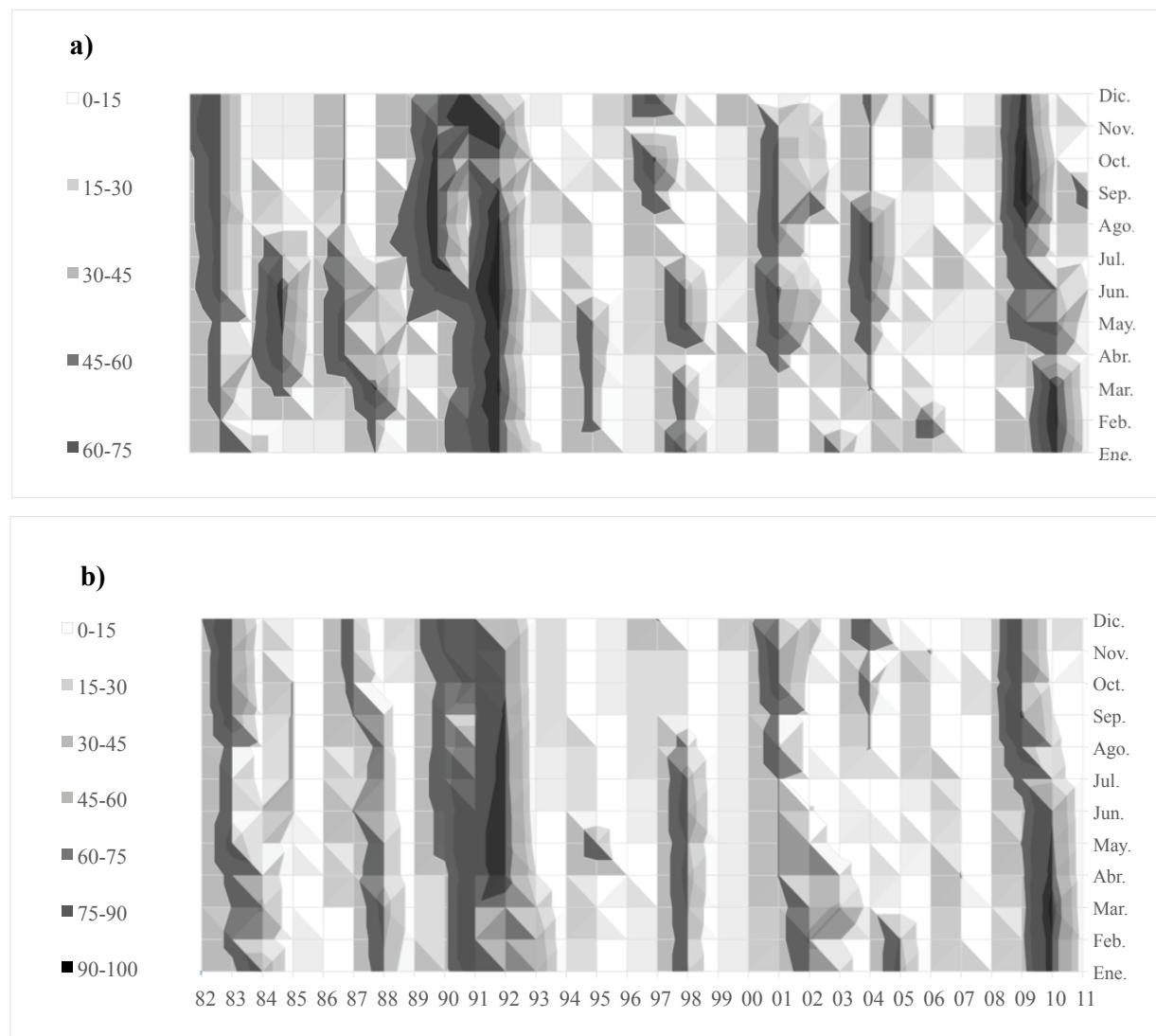
presentó el fenómeno El Niño en el país. Para la agrupación anual se reportaron 24 eventos con una cobertura espacial igual o mayor al 53 % y todos coinciden con años El Niño, como los ocurridos en 1991, 1992, 2009 y 2010. La figura 8 ilustra los resultados obtenidos, a partir de los cuales se identificó que tanto para la agrupación semestral (a) como para la anual (b), el año 1992, finales de 2009 y comienzos de 2010 fueron los años con mayor cobertura espacial. Se debe recordar que los acrósticos usados representan el último mes de la agrupación, por ejemplo, para el caso del SPI semestral, en el eje Y, el mes de agosto está representando los meses de marzo hasta agosto.

En la agrupación semestral de jun-92 se alcanzó una cobertura de 74%, al igual que en sep-09, en feb-10 el 63% de las estaciones reportaron un evento de sequía. Para la agrupación anual, se alcanzó una cobertura del 84% en mar-10, que fue la mayor en todo el registro.

Si bien el fenómeno El Niño de 2009-2010 fue clasificado como moderado, afectó de manera significativa la dinámica climática promedio del país, generó condiciones extremas en algunas regiones e impactó de manera importante el funcionamiento normal de diversos sectores del país que dependen del recurso hídrico (Bedoya, Contreras y Ruiz, 2010), y generó también en un déficit de precipitación en la cuenca del río Dagua, tal como lo muestran los resultados.

Eventos seleccionados

Para el SPI semestral de septiembre-2009, el 67 % del área presentó algún tipo de sequía, predominando la intensidad extrema, que afectó el 33 %, principalmente en la zona norte (figura 9a). En marzo de 2010 el 36 % de la cuenca presentó sequía extrema, el 28 % severa, el 11 % suave, el 21 % condiciones cercanas a lo normal y en el 4 % restante condiciones de humedad,

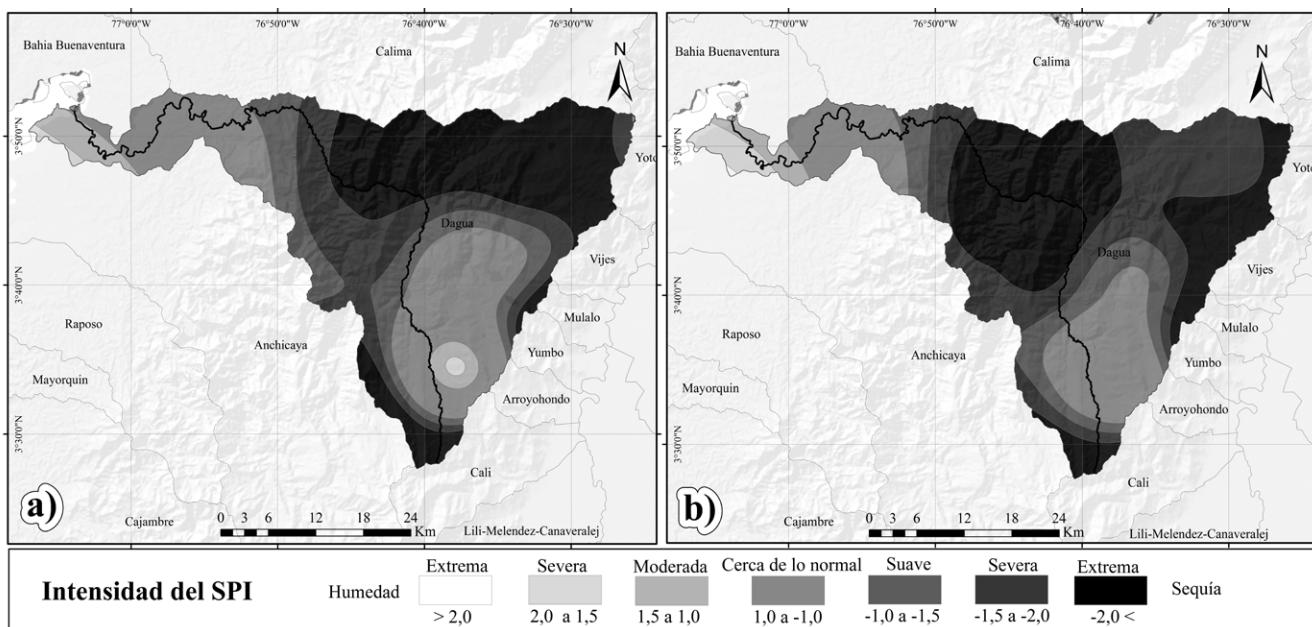
**Figura 8.** Porcentaje de localidad de sequía en el periodo evaluado: a) Semestral, b) Anual

Fuente: elaboración propia.

principalmente en la parte baja de la cuenca (figura 9b.).

Los resultados indican que en la cuenca se han presentado diferentes eventos de sequía, los cuales se concentran en la zona media y alta de esta, afectando principalmente zonas cercanas al enclave subxerofítico. Lo anterior evidencia la necesidad de realizar planes de contingencia y mitigación, con el fin de prevenir condiciones

de desertificación y aridez, que sumados a las pendientes, pueden incrementar el grado de erosión, y con ello la cantidad de sedimentos que se vierten al canal de Buenaventura, la intensidad y frecuencia de los derrumbes y deslizamientos; situación que impacta la economía del país, al afectar la principal vía que conecta a Colombia con el puerto marítimo del país.

**Figura 9. a)** Intensidad SPI semestral – septiembre-2009. **b)** Intensidad SPI anual – marzo-2010

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

La caracterización de los eventos de sequía meteorológica a partir del cálculo de su intensidad, duración, magnitud y frecuencia, es una aproximación a la descripción detallada de este fenómeno, el cual debe ser analizado de manera sistemática. El SPI permitió caracterizar las sequías a nivel semestral y anual, a partir de los datos de precipitación de 19 estaciones desde 1982 hasta 2011, mostrando que en todas las series se reportó al menos un evento de sequía; los períodos con la mayor cobertura espacial coincidieron con los años en los se presentó El Niño en el país, como 1992, 2009 y 2010.

Las sequías leves fueron las de mayor frecuencia, superando el 50 % de ocurrencia en más de la mitad de la cuenca. Los umbrales de precipitación calculados indicaron que los valores acumulados de lluvia mínima son menores en la parte media y alta de la cuenca y

aumentan hacia la parte baja. Se recomienda estudiar con mayor detalle el enclave subxerófítico ubicado en la cuenca del río Dagua, debido a que los resultados reflejaron una alta frecuencia de eventos de sequía extrema en esta zona, los ecosistemas secos son más sensibles a sufrir condiciones de desertificación en períodos de sequías prolongados.

La precipitación es la principal determinante de la severidad de una sequía, sin embargo, es importante considerar en futuros estudios, otras variables que pueden influir en la ocurrencia, intensidad y magnitud de este fenómeno, como temperatura, humedad relativa, brillo solar y la evapotranspiración, parámetros que cobran importancia en el escenario actual de cambio climático, y cuyo estudio está restringido por falta de estaciones para su monitoreo y seguimiento.

Los resultados son una aproximación para la detección y caracterización de las sequías, que a su vez contribuyen a tener elementos básicos

para la generación de estrategias de planificación y mitigación de sus impactos.

FINANCIAMIENTO

Unesco-IHE por medio del proyecto titulado “CLIMADAPTATION Climate Variability and climate change signal detection in an Andean and Mediterranean basin to define adaptation strategies to manage water resources and establish an environmental flow regime”, elaborado por el grupo IREHISA de la Universidad del Valle.

AGRADECIMIENTOS

Al grupo IREHISA, a la Universidad del Valle, a Unesco-IHE. A la CVC, el Ideam y a todas las entidades que suministraron la información.

REFERENCIAS

- Asadi, M.; Sivakumar, B. y Sharma, S. (2014). Droughts in a Warming Climate: A Global Assessment of Standardized. *Journal of Hydrology*, 526, 183-195.
- Bedoya, M.; Contreras, C. y Ruiz, F. (2010). Alteraciones del régimen hidrológico y de la oferta hídrica por variabilidad y cambio climático. En: IDEAM. *Estudio Nacional del Agua 2010*. Bogotá: IDEAM.
- Cardona, F.; Ávila, A.; Carvajal, Y. y Jiménez, E. (2013). Tendencias en las series de precipitación en dos cuencas torrenciales andinas del Valle del Cauca (Colombia). *TecnoLógicas*, 17(32), 85-95.
- Castro, L. y Carvajal, Y. (2010). Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. *Revisa EIDENAR*, 9, 15-25.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) (2007). *Balance oferta-demanda de agua superficial, cuenca del río Dagua*. Recuperado de: http://www.cvc.gov.co/images/CVC/Tematicas/Recurso_Hidrico/Aguas_Superficial/balances_ofertas_demanda/BalanceDagua.pdf
- Daza, M.; Reyes, A., W.L. y Fajardo, P. (2012). Índice de sostenibilidad del recurso hídrico agrícola para la definición de estrategias sostenibles y competitivas en la Microcuenca Centella Dagua, Valle del Cauca. *Gestión y Ambiente*, 15(2), 47-58.
- Ding, Y.; Hetes, A. y Windhalm, M. (2011). Measuring Economic Impacts of Drought: A Review and Discussion. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 20(4), 434-447. DOI:10.1108/09653561111161752
- Ezzine, H.; Bouziane, A. y Ouazar, D. (2014). Seasonal Comparisons of Meteorological and Agricultural Drought Indices in Morocco Using Open Short Time-Series Data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 36-48.
- González, M. y Domínguez, D. (2012). Statistical Prediction of Wet and Dry Periods in the Comahue Region (Argentina). *Atmospheric and Climate Sciences*, 2, 23-31.
- Gutiérrez, S.; Carvajal, Y. y Ávila, A. (junio de 2013). Estudio de la influencia del fenómeno El Niño–Oscilación del Sur en la oferta hídrica de la cuenca hidrográfica del río Dagua. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 13, 26-33.
- Hernández, R. (2008). *Caracterización de la sequía meteorológica en los climas Árido, Semiárido y Subhúmedo seco en los Llanos Centro Orientales de Venezuela, para el manejo de los recursos hídricos*. Tesis de maestría. Caracas: Universidad Nacional Experimental.
- Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon Von Neuman (2012). *Valoración integral de los bosques secos del Dagua-Valle del Cauca*. Quibdó. Recuperado de: http://siatpc.iiap.org.co/docs/avances/valoracion_integral_de_los_bosques_secos_del_dagua-valle_del_cauca.pdf
- Kaipper, M. (11 de diciembre de 2013). La sequía: enemigo silencioso de Latinoamérica. *El País.com*. Recuperado de: <http://internacional>.

- elpais.com/internacional/2013/12/11/actualidad/1386777333_583840.html
- Lloyd-Hughes, B. y Saunders, M. (junio de 2002). A Drought Climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 22(13), 1571-1592.
- Loaiza, W. (2014). *Fenómeno de El Niño-Oscilación Del Sur (ENOS) y su impacto sobre los sistemas productivos agrícolas de la cuenca del río Dagua, Valle Del Cauca*. Tesis de maestría. Cali: Universidad del Valle.
- McKee, T.; Doesken, N. y Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *Eighth Conference on Applied Climatology* (pp. 17-22). Anaheim: California.
- Mishra, A. y Singh, V. (septiembre de 2010). A Review of Drought Concepts. *Journal of Hydrology*, 391, 202-216.
- Morales, J. (2005). *El efecto de la longitud de registro en el cálculo del índice de precipitación estándar*. Tesis de maestría. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Núñez, S.; Núñez, L.; Podestá, G. y Skansi, M. (2005). *El índice estandarizado de precipitación como herramienta para la caracterización y el monitoreo de la sequía: una prueba de concepto*. XIX Congreso Argentino de Meteorología. Buenos Aires.
- Ortega. (2012). *Sequía en Nuevo León: vulnerabilidad, impactos y estrategias de mitigación*.
- México: Instituto del Agua de Estado de Nuevo León.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2008). *Hacia un Valle del Cauca incluyente y pacífico*. Cali.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2014). *Resumen Informe sobre desarrollo humano 2014. Sostener el progreso humano: reducir vulnerabilidades y construir resiliencia*. Washington. Recuperado de: <http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr14-summary-es.pdf>
- Silva, F.; Genz, F.; Aguiar, W.; Silva, N. y Kiperstok, A. (junio de 2013). Avaliação da ocorrência de secas na Bahia utilizando o Índice de Precipitação Padronizada (SPI). *Bahia Análise & Dados*, 23(2), 461-473.
- Wagner, A.; Ortiz, R. y Barragán, M. (2012). *Valoración de la sequía hidrológica en la cuenca Lerma Chapala*. XXII Congreso Nacional de Hidráulica. Acapulco.
- Zhai, J.; Su, B.; Krysanova, V.; Gao, C y Jiang, T. (2010). Spatial Variation and Trends in PDSI and SPI Indices and Their Relation to Streamflow in 10 Large Regions of China. *ournal of Climate*, 23, 649-663.
- Zucarelli, V. (2013). Identificación de eventos hídricos extremos en la cuenca del río Paraná. *Tecnología y Ciencias del Agua*, IV(5), 181-187.

