

Evaluación temporal de sequías en la Hoya de Guayllabamba provincia de Pichincha – Ecuador

Eugenio Villacis Rivadeneira email: evillacis@espe.edu.ec
Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción DECTC
Carrera de Ingeniería Civil. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Ecuador.

Norberto Marrero de León email: marrero@tesla.cujae.edu.cu
Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH).
Universidad Politécnica de la Habana José Antonio Echeverría (Cujae). Habana.

RESUMEN

Para conocer el comportamiento de las sequías en el entorno físico-geográfico alto andino por encima de los 2000 msnm, se establece el procedimiento de cálculo del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) en períodos de análisis de seis y doce meses utilizando tres estaciones meteorológicas en la Hoya de Guayllabamba, situadas a lo largo del eje longitudinal del área de estudio con diferentes alturas. Como resultado se han obtenido los valores del Índice Estandarizado de Precipitación (IPE) referenciados con respecto al valor de -1, establecido como el umbral que identifica la ocurrencia de eventos de sequías y permite conocer la severidad y duración de las mismas, a partir de los datos de precipitación media mensual.

Palabras clave: Hoya de Guayllabamba, índice de precipitación estandarizado (IPE), sequías, umbral.

Drought temporal assessment in Hoya de Guayllabamba province of Pichincha – Ecuador

RESUME

In order to know the behavior of the droughts in the high Andine physical-geographical environment over 2000 masl, the calculation procedure of the standard precipitation index (SPI) is applied. The procedure is established using periods of analysis within the range of six and twelve months using the data of three different meteorological stations in the Hole of Guayllabamba. The stations are situated along the longitudinal axis of the research area with different heights. As a result the values of the standard precipitation index (SPI) were obtained using as a reference the minus one (-1) value. This value is accepted as the threshold that identifies the occurrences of drought events, and allows to know its severity as well as its duration using as a reference the monthly precipitation data.

Keywords: Hole of Guayllabamba, standard precipitation index SPI, droughts, threshold.

INTRODUCCIÓN

Con la premisa de que las sequías son eventos complejos cuya presencia se considera normal e inevitable en los patrones climáticos regionales, en el presente trabajo se pretende definir cuál es el comportamiento temporal de las sequías meteorológicas en el ámbito y condiciones físico-geográficas del callejón interandino, donde la altitud influye notoriamente en los procesos formadores de precipitación y es un factor modificador de las alturas o láminas pluviométricas.

Las sequías meteorológicas estacionales son frecuentes en Ecuador afectando con más énfasis las provincias de Manabí y Santa Elena en la región costanera y a la provincia de Loja en la región austral del país, siendo relevante la coexistencia de períodos secos y de períodos húmedos, ambos con características extremas en una misma región y a distancias relativamente cortas (Pourrut 1995).

En épocas recientes la región costanera y la región andina central, han presentado un comportamiento climático inusual y extremo. El año 2009 fue uno de los más secos de las últimas décadas, lo cual generó el estrés hídrico característico de las sequías en seis provincias del país, generando la reducción en la disponibilidad de agua para el consumo humano y animal y la consecuente afectación de la seguridad alimentaria por el aumento de precio de los productos, y el eventual impacto sobre la economía y la calidad de vida de la población involucrada (Gallardo 2015).

Por encima de la cota de 2000 msnm, los estudios sobre sequías meteorológicas son limitados; es por ello que los aspectos relacionados con las sequías son importantes no solo desde el punto de vista sinóptico y climático, sino también desde el punto de vista socio económico, por el impacto que generan sobre los valles interandinos, tradicionalmente considerados como de alta productividad.

En este contexto, el objetivo del trabajo es cuantificar el Índice Estandarizado de Precipitación (IPE) en el sector medio de la Hoya de Guayllabamba, área tomada como referente debido a las condiciones climáticas que imperan actualmente en la serranía central del Ecuador, donde los registros pluviométricos registran valores menores que los valores promedios históricos, lo cual justifica la necesidad de identificar y monitorear las sequías meteorológicas a través del IPE.

AREA DE ESTUDIO

La Hoya de Guayllabamba, en la provincia de Pichincha tiene una superficie de 4710 km², formada por el curso del río Guayllabamba, delimitada por los nudos de Mojanda Cajas al norte y de Tiopullo al sur, comprende los valles de Cayambe (2814 msnm), Guayllabamba y Puéllaro al norte del eje hidrográfico, y los de los Chillos y Machachi (2933 msnm) al sur.

Forma parte de la región interandina caracterizada por una altura media de 4000 msnm, con una temperatura anual promedio que varía de 12 °C a 18 °C., y con un régimen pluviométrico influenciado por la presencia de la cordillera de los Andes que determina básicamente dos estaciones, la húmeda o lluviosa desde octubre a mayo y la menos lluviosa o seca, desde junio a

septiembre (León 2014), registrando valores de precipitación media variable, en el rango entre 1400 mm/año y 550 mm/año.

El sistema hidrográfico de la Hoya de Guayllabamba distingue como cauce principal al río Guayllabamba y entre sus principales afluentes se encuentran los ríos San Pedro, Pita, y Pisque que en conjunto conforman un gran sistema de drenaje dendrítico que escurre hacia el oeste para desembocar en el Océano Pacífico, figura 1.

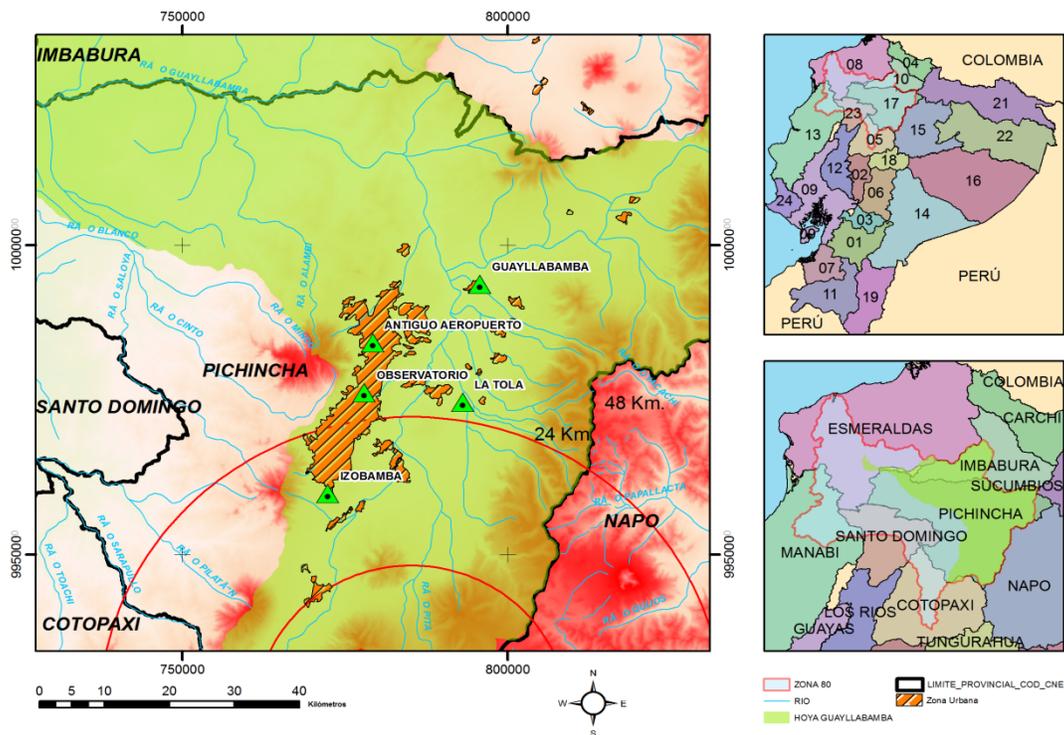


Figura 1. Hoya de Guayllabamba

El ámbito del trabajo se desarrolla en la zona media de la Hoya de Guayllabamba con una superficie de 948,15 km² y un rango altitudinal entre 800 y 4600 msnm. Esta área abarca en su mayor parte al cantón Quito e involucra a las áreas administrativas de cinco cantones: Cayambe, Distrito Metropolitano de Quito, Mejía, Pedro Moncayo y Rumiñahui.

IDENTIFICACIÓN DE SEQUÍA

La sequía difiere de otros fenómenos meteorológicos en sus aspectos temporales, por ejemplo, la duración total evaluada entre su comienzo y su fin. Particularmente el comienzo es difícil de fijar ya que no coincide con la terminación de la última lluvia útil (Heras 1976).

El procedimiento establece sucesiones negativas y positivas respecto al valor del umbral -1, correspondiente con el índice de precipitación estandarizado (IPE) que más abajo se describe. En la tabla 1 se establece la categorización según este índice IPE.

El valor del umbral de sequía considerado como -1 surge al introducir una variante en la metodología del cálculo del Índice de Desviación Estandarizada de la precipitación, que se

calcula restando a la precipitación total de un determinado período, la media aritmética de ese período y dividiendo el resultado por la desviación típica. El resultado será próximo a cero para valores cercanos a la media, e igual a 1 cuando la diferencia entre la lluvia registrada y la media del período sea próxima al valor de desviación típica.

Tabla 1. Categorías del Índice de Precipitación Estandarizado IPE

| IPE | Categoría | Probabilidad % |
|----------------------|-----------------------|----------------|
| 2,00 o más | Extremadamente húmeda | 2,30 |
| 1,50 a 1,99 | Severamente húmeda | 4,40 |
| 1,00 a 1,49 | Moderadamente húmeda | 9,20 |
| -0,99 a 0,99 | Cercana a normal | 68,2 |
| -1,49 a -1,00 | Moderadamente seca | 9,20 |
| -1,99 a -1,50 | Severamente seca | 4,40 |
| -2,00 o menos | Extremadamente seca | 2,30 |
| [Fuente: OMM (2012)] | | |

La estandarización de los valores de precipitación permite que los resultados presenten una distribución normal, facilitando la comparación entre diversos climas. Sin embargo, en aquellas regiones que tienen un régimen pluviométrico variable, surgen inconvenientes cuando la media aritmética de la serie es inferior a la desviación típica, de tal forma que el índice nunca podrá alcanzar el valor de -1.

La aplicación del IPE soslaya esta eventualidad y es posible cuantificar el déficit de precipitación acumulada para diversas escalas de tiempo, que pueden reflejar retrasos en la respuesta de los recursos hídricos ante las anomalías del comportamiento pluviométrico de una determinada región.

La delimitación del umbral de sequía con el valor de -1 es una restricción cuantitativa, tomada para su aplicación en Colorado, USA, y que ha permitido que el IPE se generalice como una metodología de cálculo apropiada para el estudio de las sequías meteorológicas por su versatilidad e inmediatez, pues utiliza como dato primario solo la precipitación, estableciendo el inicio de un episodio de sequía cuando el IPE sea continuamente negativo con un valor inferior o igual a -1, y su finalización en el momento en que el IPE adquiera valor positivo.

COEFICIENTE PLUVIOMÉTRICO

La sucesión temporal de los períodos lluviosos y menos lluviosos en la Hoya de Guayllabamba está relacionada con el coeficiente pluviométrico C_p establecido para la zona de estudio.

Los valores del C_p fueron obtenidos por el autor mediante el procesamiento estadístico de la serie de datos de la estación Quito Observatorio, con un registro de 89 años (1891-1980), privilegiando el cálculo de la precipitación media mensual, la precipitación promedio anual, y el cociente entre la precipitación media anual y el número de días calendario de un año tipo, según la ecuación (1).

$$Cp = \frac{P_m / \# \text{ días del mes}}{P_A / 365} \quad (1)$$

donde:

Cp : Coeficiente pluviométrico (adimensional)

P_m : Precipitación media mensual del mes específico (mm)

P_A : Precipitación media anual de la serie (mm)

Los resultados obtenidos permiten evaluar la variabilidad del régimen pluviométrico del área de estudio la cual presenta de manera cíclica multianual dos valores picos del período lluvioso en los meses de abril y octubre, con valores picos de $Cp = 1,76$ y $Cp = 1,27$ respectivamente; mientras que el período menos lluvioso eventualmente favorable a los eventos de sequía entre los meses de junio a septiembre, registra el valor más bajo durante el mes de julio, con un valor de $Cp = 0,19$, tabla 2 y figura 2.

Tabla 2. Coeficiente pluviométrico Cp

| Meses | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Cp | 1,11 | 1,40 | 1,50 | 1,76 | 1,25 | 0,50 | 0,19 | 0,24 | 0,80 | 1,27 | 1,09 | 0,98 |
| [Fuente propia del año 2015] | | | | | | | | | | | | |



Figura 2. Variación temporal del Coeficiente pluviométrico Cp

La sucesión de eventos negativos o positivos de los eventos de sequía respecto al valor del umbral de -1, tienen un solape del 50 % con los valores del Cp calculados previamente, lo cual evidencia la afinidad entre los valores del IPE y el, básicamente entre los meses de junio hasta septiembre, sin descartar la ocurrencia de eventos de sequía atípicos, fuera de este entorno de tiempo.

Nótese que los datos utilizados para el cálculo del Cp fueron realizados con la serie más larga disponible, es decir, con los datos estación Quito Observatorio, mientras que el resto de los valores calculados del IPE, tienen carácter propio para cada estación seleccionada, utilizando la serie simultánea de 19 años, con escalas de tiempo de seis y doce meses respectivamente.

METODOLOGÍA

La Hoya de Guayllabamba dispone de 37 estaciones meteorológicas de distinto tipo, las cuales fueron depuradas atendiendo a la ubicación geográfica más propicia, poseedoras de las series más robustas y homogéneas.

En este contexto, las estaciones seleccionadas son: M003 Izobamba, M054 Quito-Observatorio y M341 Guayllabamba, con 49, 89, y 52 años de registros de precipitación, situadas hacia el sur, centro y norte del área de estudio respectivamente, tabla 3.

Tabla 3. Equipos seleccionados

| CODIGO | NOMBRE | TIPO | LATITUD | LONGITUD | msnm |
|----------------------|--------------------|-------------|----------------|-----------------|-------------|
| M003 | Izobamba | AP | -0,36667° | -78,55° | 3058 |
| M054 | Quito-Observatorio | CP | -0,21491° | -78,50° | 2820 |
| M341 | Guayllabamba | PV | -0,05694° | -78,34° | 2150 |
| [Fuente INAMHI 2016] | | | | | |

El análisis de las series de forma cronológica, determinó la simultaneidad de los eventos de precipitación media desde 1962 hasta 1980 (19 años), aceptable para la evaluación del IPE. Por otra parte, con la serie de 89 años de la estación M054 Quito Observatorio, se realizó el análisis específico para las dos escalas de tiempo de seis y doce meses respectivamente.

De forma adicional, con cada serie seleccionada y en las respectivas escalas temporales se contabilizó el número total de meses en los que no se registraron eventos de sequía. Comparando este valor respecto al número total de meses de cada serie, se obtuvo el porcentaje de meses sin registro de IPE, tabla 4.

Tabla 4. Comportamiento temporal del IPE

| CODIGO | NOMBRE | Escala temporal 6 meses | | Escala temporal 12 meses | |
|------------------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| | | # meses sin IPE | Valor porcentual | # meses sin IPE | Valor porcentual |
| M003 | Izobamba | 5 | 0,85 | 11 | 1,87 |
| M054 | Quito Observatorio | 34 | 3,15 | 58 | 5,37 |
| M341 | Guayllabamba | 5 | 0,8 | 11 | 1,76 |
| [Fuente propia del año 2016] | | | | | |

En este contexto, los valores de la tabla 4 son usados para discernir cual es la escala temporal más conveniente para ser utilizada en el análisis de las sequías meteorológicas en el área de estudio, en función del menor número de meses sin registro de IPE. El autor estima que los bajos valores porcentuales de meses sin IPE reflejados en dicha tabla, no introducen errores significativos en la exactitud de la determinación del IPE.

No obstante, y para asegurar la consistencia de los resultados finales, se fijó un período común (19 años) para el análisis del IPE en los tres equipos seleccionados y

complementariamente, la estación Quito Observatorio fue sujeta a un análisis particular y necesario por tener la serie más robusta.

ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADO IPE

El IPE cuantifica el déficit de precipitación acumulada aceptando que el contenido de humedad en el suelo es la respuesta a las anomalías de la precipitación. La cuantificación de las condiciones de déficit o exceso en la precipitación en una zona determinada favorece la detección de las sequías meteorológicas en función de la precipitación mensual únicamente.

En este contexto no se considera la temperatura ni las variables del suelo y su ulterior monitoreo y es por tanto, un valor climático mensual indicativo de la desviación entre la precipitación acumulada en un momento dado y el valor promedio característico para dicha fecha que puede ser calculado en diferentes períodos acumulados, a partir de uno o más meses.

El IPE fue elegido por su facilidad y el uso exclusivo con datos de precipitación mensual lo cual lo convierte en una métrica apropiada para el estudio de las sequías meteorológicas. Para su aplicación se pueden utilizar series de datos continuos de lluvia mensual, considerándose una serie robusta e ideal para extensiones temporales entre 50 a 60 años o más, aunque con series entre 20 a 30 años se realiza un análisis aceptable, en dependencia de las escalas temporales y del tipo de sequía que se investiga.

Las sequías son fenómenos multiescalares que requieren el uso de diferentes escalas temporales que permitan detectar los impactos negativos sobre las diferentes variables de interés como el escurrimiento superficial, la humedad disponible en el suelo, la profundidad del agua subterránea, los caudales de ríos, entre otros.

La elección de la escala temporal depende del interés respecto a las características de los eventos de sequía, aunque de modo generalizado se plantean las opciones de 1, 3, 6, 12 meses y en las cuales, la sequía inicia cuando el valor del IPE se hace negativo e inferior al umbral de -1 y termina cuando el IPE se vuelve superior al umbral de -1 otra vez (OMM 2012).

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADA IPE

El IPE se calcula ajustando la distribución de frecuencias de precipitación acumulada a una distribución teórica de probabilidad, generalmente la distribución gamma.

Los valores de probabilidad acumulada son asociados con los correspondientes valores de una distribución normal estándar, para los cuales se obtiene el valor de la variable estandarizada Z para la distribución normal estándar con media 0 y varianza 1, el cual representa el IPE, y que con respecto al valor de -1 distingue la ocurrencia, o no, de períodos de sequía.

Con referencia a la tabla 5, nótese la magnitud obtenida a partir de que la función de densidad de la probabilidad normal está definida por rangos. En este contexto, por definición, los valores extremos del IPE extremadamente húmedos y/o extremadamente secos tienen una probabilidad

de ocurrencia del 2,30 %. A partir de eventos moderadamente secos hasta los extremadamente secos tienen una probabilidad de ocurrencia acumulada de 15,90 % con valores de IPE ≤ -1 .

Tabla 5. Categorías del Índice de Precipitación Estandarizado IPE

| IPE | Categoría | Probabilidad % |
|---------------|-----------------------|----------------|
| 2,00 o más | Extremadamente húmeda | 2,30 |
| 1,50 a 1,99 | Severamente húmeda | 4,40 |
| 1,00 a 1,49 | Moderadamente húmeda | 9,20 |
| -0,99 a 0,99 | Cercana a normal | 68,2 |
| -1,49 a -1,00 | Moderadamente seca | 9,20 |
| -1,99 a -1,50 | Severamente seca | 4,40 |
| -2,00 o menos | Extremadamente seca | 2,30 |

[Fuente: OMM (2012)]

RESULTADOS

Los valores del IPE en el área de estudio fueron determinados utilizando dos variantes:

- Con las series simultáneas de 19 años (1962-1980) para los tres equipos seleccionados, con escalas de tiempo de seis y doce meses, cuyos resultados se muestran en la tabla 6 y figura 3.
- Con la serie de 89 años (1891-1980) exclusivamente con el equipo Quito Observatorio, con escalas de tiempo de seis y doce meses según se aprecia en la tabla 7 y figura 4.

Tabla 6. Índice Estandarizado de Precipitación IPE (1962-1980)

| No. | Año | M 341 Guayllabamba | | M 054 Quito Observatorio | | M 003 Izobamba | |
|-----|------|-----------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | IPE 6 Meses | IPE 12 Meses | IPE 6 Meses | IPE 12 Meses | IPE 6 Meses | IPE 12 Meses |
| 1 | 1962 | -0,22 | -0,27 | -2,08 | -1,06 | -1,93 | 0,00 |
| 2 | 1963 | -0,22 | -0,27 | -1,38 | -0,65 | -1,04 | -0,70 |
| 3 | 1964 | 0,73 | -0,27 | -3,29 | -1,74 | 1,20 | 0,78 |
| 4 | 1965 | 1,14 | 0,81 | -2,58 | -0,85 | 1,04 | -0,87 |
| 5 | 1966 | 1,58 | 1,50 | -1,70 | -1,13 | -2,28 | -0,96 |
| 6 | 1967 | 1,84 | 1,56 | -2,81 | -1,60 | -1,68 | -1,70 |
| 7 | 1968 | 0,78 | 0,95 | 2,01 | -2,08 | 1,46 | 1,10 |
| 8 | 1969 | 1,21 | 1,00 | 1,62 | 1,06 | 1,79 | 1,68 |
| 9 | 1970 | 1,07 | 0,98 | -1,19 | 1,22 | 1,83 | 1,76 |
| 10 | 1971 | 1,37 | 1,18 | 1,87 | 1,46 | -1,10 | 1,23 |
| 11 | 1972 | 2,40 | 1,81 | 1,91 | 1,21 | 1,29 | -0,67 |
| 12 | 1973 | 1,93 | 2,28 | -1,43 | -0,65 | 1,75 | 0,98 |
| 13 | 1974 | 0,94 | 1,10 | -1,52 | -0,71 | 1,73 | 1,42 |
| 14 | 1975 | 0,81 | 0,84 | 2,52 | 1,65 | -1,66 | 0,95 |
| 15 | 1976 | 1,53 | 1,06 | -1,46 | 1,53 | -1,51 | -1,93 |
| 16 | 1977 | 0,94 | 1,29 | -2,00 | -1,51 | -1,45 | -1,57 |
| 17 | 1978 | 1,03 | 0,76 | -2,45 | -1,66 | -2,15 | -1,49 |
| 18 | 1979 | 0,82 | 0,78 | -2,44 | -1,99 | -2,17 | -2,62 |
| 19 | 1980 | 1,31 | 0,76 | -2,54 | -2,40 | 0,82 | -0,99 |

[Fuente propia del año 2016]

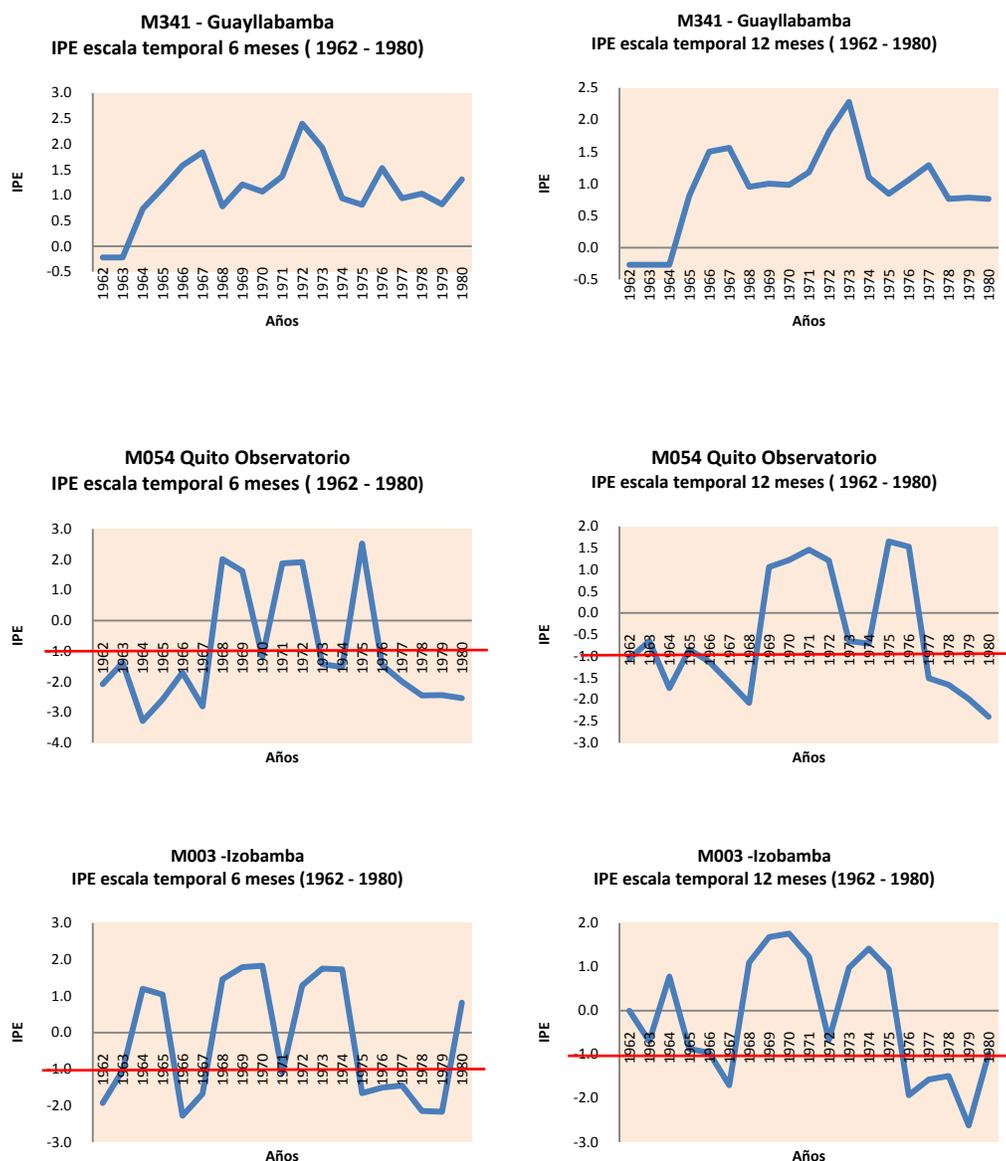


Figura 3. Índice Estandarizado de Precipitación IPE. Escalas temporales 6 meses y 12 meses. Series 1962 – 1980

Nótese que la estación M341 Guayllabamba está ubicada en una zona más baja que las otras dos estaciones y no registró valores del IPE inferiores al umbral de sequía igual a -1 en el período desde 1962 a 1980.

Una probable causa es su notoria diferencia altimétrica respecto a las Estaciones M003 Izobamba y M054 Quito Observatorio, de 908 m y 670 m respectivamente, diferencia que influye en los totales pluviométricos que resultan variables según la altura, y que es la identidad del comportamiento de la precipitación en el Callejón Interandino.

Tabla 7. Índice Estandarizado de Precipitación IPE. Estación M054 Quito Observatorio Escalas temporales 6 meses y 12 meses

| | Año | IPE 6 Meses | IPE 12 Meses | | Año | IPE 6 Meses | IPE 12 Meses | | Año | IPE 6 Meses | IPE 12 Meses |
|------------------------------|------|-------------|--------------|----|------|-------------|--------------|----|------|-------------|--------------|
| 1 | 1891 | -1,95 | 0,00 | 31 | 1921 | -1,66 | -1,45 | 61 | 1951 | 2,21 | 2,34 |
| 2 | 1892 | 1,99 | 1,57 | 32 | 1922 | -2,23 | -0,83 | 62 | 1952 | 2,14 | 1,33 |
| 3 | 1893 | 2,19 | 1,79 | 33 | 1923 | -1,66 | -1,86 | 63 | 1953 | 2,78 | 2,02 |
| 4 | 1894 | -1,37 | 1,93 | 34 | 1924 | 1,21 | 0,00 | 64 | 1954 | 1,56 | 2,08 |
| 5 | 1895 | -1,59 | -1,47 | 35 | 1925 | 1,49 | 1,13 | 65 | 1955 | 1,27 | 1,38 |
| 6 | 1896 | -0,83 | -1,10 | 36 | 1926 | -3,33 | -2,97 | 66 | 1956 | 0,94 | -0,72 |
| 7 | 1897 | 1,75 | 1,31 | 37 | 1927 | 2,02 | -1,79 | 67 | 1957 | -1,43 | -0,37 |
| 8 | 1898 | 1,52 | 1,74 | 38 | 1928 | 1,50 | 1,88 | 68 | 1958 | -2,50 | -1,14 |
| 9 | 1899 | 1,33 | 0,99 | 39 | 1929 | 1,51 | 1,3 | 69 | 1959 | -2,02 | -2,26 |
| 10 | 1900 | 1,34 | 0,75 | 40 | 1930 | 1,94 | -0,91 | 70 | 1960 | -2,71 | -1,44 |
| 11 | 1901 | 2,19 | 0,99 | 41 | 1931 | 0,84 | 0,50 | 71 | 1961 | -1,32 | -2,05 |
| 12 | 1902 | -1,69 | 1,36 | 42 | 1932 | 1,63 | 1,27 | 72 | 1962 | -2,08 | -1,06 |
| 13 | 1903 | -1,61 | -1,44 | 43 | 1933 | 2,09 | 1,89 | 73 | 1963 | -1,38 | -0,65 |
| 14 | 1904 | -1,76 | 0,94 | 44 | 1934 | 1,88 | 1,51 | 74 | 1964 | -3,29 | -1,74 |
| 15 | 1905 | -2,02 | -2,04 | 45 | 1935 | 0,99 | 1,89 | 75 | 1965 | -2,58 | -0,85 |
| 16 | 1906 | -2,50 | -1,17 | 46 | 1936 | -1,23 | -1,12 | 76 | 1966 | -1,70 | -1,03 |
| 17 | 1907 | 0,95 | 0,61 | 47 | 1937 | -1,91 | -1,48 | 77 | 1967 | -2,81 | -1,60 |
| 18 | 1908 | 0,85 | 0,71 | 48 | 1938 | 2,09 | 1,52 | 78 | 1968 | 2,01 | -2,08 |
| 19 | 1909 | 0,00 | 0,00 | 49 | 1939 | 1,25 | -0,84 | 79 | 1969 | 1,62 | 1,06 |
| 20 | 1910 | -0,88 | 0,00 | 50 | 1940 | -1,61 | -1,05 | 80 | 1970 | -1,19 | 1,22 |
| 21 | 1911 | -1,06 | -1,00 | 51 | 1941 | -1,83 | -0,76 | 81 | 1971 | 1,87 | 1,46 |
| 22 | 1912 | -1,49 | -1,27 | 52 | 1942 | -1,42 | -1,28 | 82 | 1972 | 1,91 | 1,21 |
| 23 | 1913 | 2,17 | 1,89 | 53 | 1943 | 2,00 | 1,36 | 83 | 1973 | 1,41 | -0,65 |
| 24 | 1914 | -2,42 | 1,54 | 54 | 1944 | 2,13 | 1,14 | 84 | 1974 | -1,52 | -0,71 |
| 25 | 1915 | 3,39 | 1,74 | 55 | 1945 | -1,45 | -1,52 | 85 | 1975 | 2,52 | 1,65 |
| 26 | 1916 | -1,14 | 0,79 | 56 | 1946 | -2,37 | -0,89 | 86 | 1976 | -1,46 | 1,53 |
| 27 | 1917 | 2,38 | 0,00 | 57 | 1947 | -1,04 | -1,44 | 87 | 1977 | -2,00 | -1,51 |
| 28 | 1918 | 2,45 | 3,41 | 58 | 1948 | -1,30 | -0,72 | 88 | 1978 | -2,09 | -1,66 |
| 29 | 1919 | -1,34 | 1,13 | 59 | 1949 | 1,10 | -0,91 | 89 | 1979 | -2,44 | -1,99 |
| 30 | 1920 | -1,33 | -1,30 | 60 | 1950 | 1,91 | 1,60 | 90 | 1980 | -2,54 | -2,40 |
| [Fuente propia del año 2016] | | | | | | | | | | | |

En la metodología de cálculo del IPE; un evento de sequía queda establecido cada vez que el IPE alcanza el umbral de sequía igual a -1 (línea roja, figuras 3 y 4), continuando en esa condición hasta que el IPE alcance un valor mayor que -1.

Los resultados gráficos de la figura 3 estipulan que las estaciones Quito Observatorio e Izoamba, tienen un comportamiento similar en las dos escalas de tiempo consideradas,

destacándose los períodos desde 1963 a 1967 y desde 1975 a 1980, registrando en cada caso, los valores de mayor intensidad de sequía.

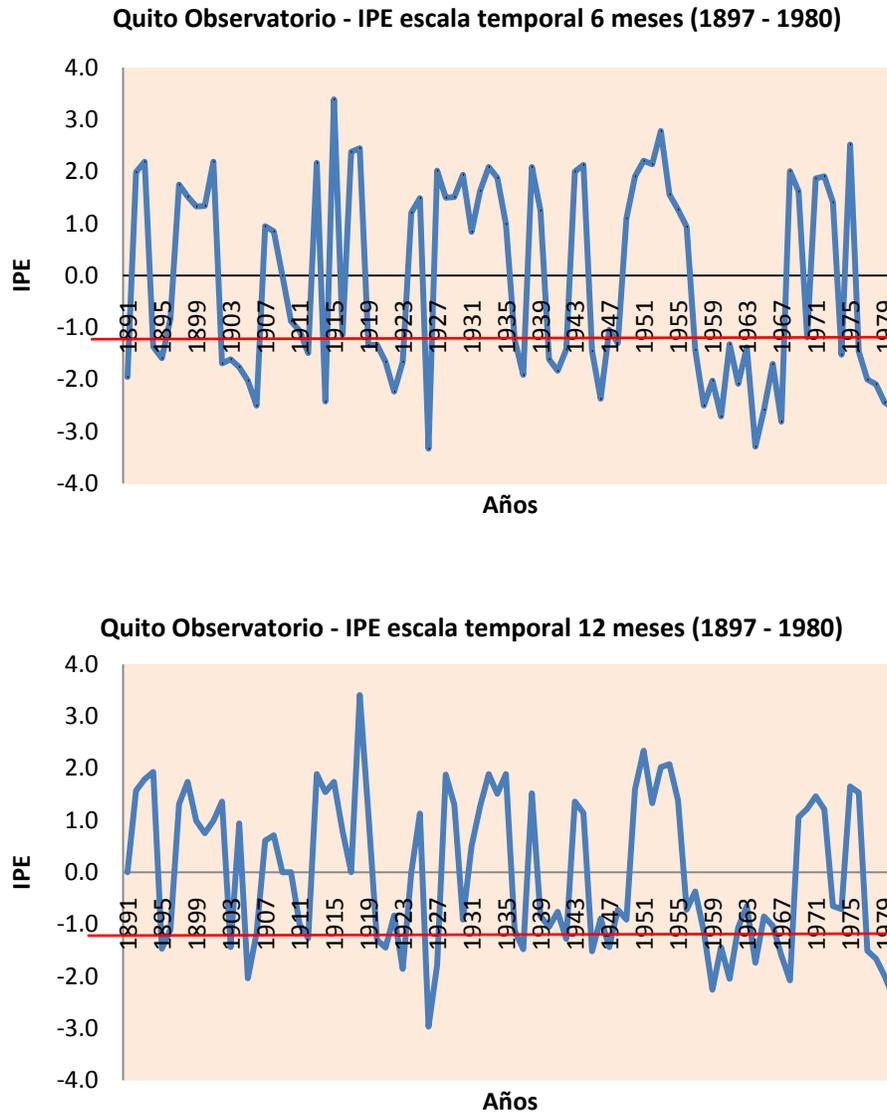


Figura 4. Índice Estandarizado de Precipitación IPE Escalas temporales 6 meses y 12 meses. Series 1891– 1980

Los resultados del IPE en la estación Quito Observatorio evaluada con la escala de tiempo de seis meses, revelan una mayor identificación de eventos de sequía, registrando además la máxima intensidad de sequía con un valor del IPE igual a -3,33 en el año 1926, evento con un período de retorno de 43,5 años.

CONCLUSIONES

1. Las series simultáneas de 19 años permiten un análisis aceptable en la escala de tiempo de seis meses para los tres equipos seleccionados. El número de eventos de sequía para la escala de tiempo de seis meses es 41,7 % mayor que el número de eventos de sequía evaluados con la escala de tiempo de 12 meses, evidenciando una ventaja cuantitativa para la identificación y monitoreo de las sequías meteorológicas cuando se disponga de series relativamente cortas.
2. La serie de 89 años (1891 – 1980) de la estación Quito Observatorio es robusta y supera la condición ideal de 50 – 60 años o más. Los valores del IPE obtenidos con la escala temporal de seis meses supera en un 30 % la identificación de eventos de sequía evaluados con la escala de tiempo de 12 meses, por lo que se concluye que cuando se dispone de series largas, es más beneficiosa la utilización de la escala de tiempo de seis meses.
3. La escala temporal de seis meses aplicada a la serie de la estación Quito Observatorio identifica 46 eventos, de los cuales 16 son moderadamente secos con un valor extremo de IPE de -1,49; 13 severamente secos con un valor extremo de IPE de -1,95 y, 17 extremadamente secos con un valor extremo de IPE de -3,33 y cuyos períodos de retorno son 10,7 años, 25 años y 43,5 años respectivamente.
4. Los valores del IPE en el área de estudio se interpretan como un valor climático mensual y concentran su utilidad para el análisis de las sequías meteorológicas en el ámbito andino con una mayor resolución usando la escala de tiempo de seis meses, incluso utilizando series no necesariamente ideales respecto a su longitud, pero necesariamente con la condición de que tengan un bajo porcentaje de meses sin registro de eventos de sequía.

REFERENCIAS

- Gallardo Y.** (2015). “Sistemas de Gestión para la mitigación de los impactos negativos en áreas agrícolas del municipio Venezuela de la provincia de Ciego de Ávila”, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, ISBN- 9783668113015, Ciego de Ávila, Cuba.
- Heras R.** (1976). “Hidrología y Recursos Hidráulicos”, Centro de Estudios Hidrográficos, ISBN- 84-500-16-9, Madrid, España.
- INAMHI** (2016). “Anuario Hidrológico”. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito, Ecuador.
- León J.** (2014). “Manual de Geografía del Ecuador”, Universidad Andina Simón Bolívar, Corporación Editora Nacional, ISBN- 978-9978-19-636-6, Quito, Ecuador.
- OMM** (2012). “Índice normalizado de precipitación, Guía del Usuario OMM” – No. 1090, ISBN- 978-92-63-31090-3, Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza.
- Pourrut P.** (1995). “El agua en el Ecuador, clima, precipitaciones, escorrentía”, ORSTOM - Corporación Editora Nacional, ISBN- 9978-84-035-4, Colección 9978-84-222-5, Quito, Ecuador.