



## CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA DE SERIES HIDROLÓGICAS

### Caso de Estudio: Cuenca del Río San Andrés

Sebastián Cardona Hoyos

## 4.1

### 1. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de analizar el comportamiento de las series de caudal en la cuenca del río Cauca, se tomó de forma inicial los registros pertenecientes a la estación IDEAM El Cedral, ubicada sobre la cuenca del río San Andrés (tributario del río Cauca). Es de resaltar que dicha serie de tiempo consta de caudales medios diarios, los cuales fueron monitoreados desde 1980 hasta 2008 (último año para el cual se dispone de información), conformando así 29 años de registro con 10.593 datos de caudal.

De esta forma buscando caracterizar el comportamiento hidrológico de esta subcuenca, se presenta a continuación el análisis estadístico sobre la serie de caudales de la estación IDEAM El Cedral, para la cual se utilizan medidas descriptivas de localización (media, mediana y cuantiles), dispersión (desviación estándar y rango inter-cuartil), simetría (índice Yule-Kendal) y análisis de puntos calientes o de acumulación de masa.

Los resultados obtenidos, así como las principales conclusiones tras aplicar los métodos anteriormente descritos se ilustran a continuación.

### 2. METODOLOGÍA

Como fue mencionado, la serie de registros empleada en este estudio es la que pertenece a la estación IDEAM El Cedral, localizada en la cuenca del río San Andrés, puntualmente en las coordenadas N:  $6^{\circ}53'50''$ , O:  $-75^{\circ}40'21''$ . Es importante mencionar que el instrumento de medición es del tipo limnimétrico, por lo que solo se disponen de mediciones a nivel diario del río

San Andrés. A continuación, en la Figura 1 se ilustra la serie de caudales perteneciente a la estación El Cedral.

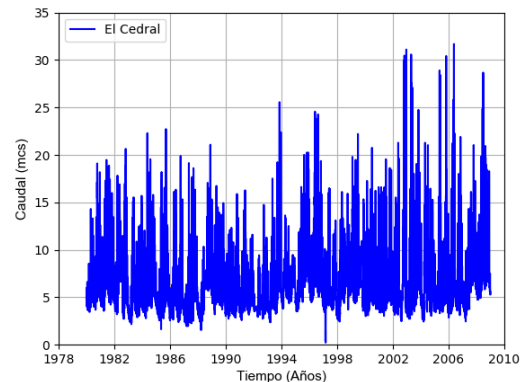


Figura 1. Serie de caudales de la estación El Cedral – Cuenca del río San Andrés

Una vez se dispuso de la serie de tiempo, se procedió inicialmente a caracterizar para toda la longitud de registro sus percentiles, su distribución probabilística de caudales y el mapa de puntos calientes.

Posteriormente se realizaron las comparaciones entre las métricas de localización y dispersión, para finalmente evaluar los resultados arrojados por el índice de Yule-Kendal.

Los resultados obtenidos tras aplicar la metodología anteriormente descrita, se presenta a continuación.

### 3. DISTRIBUCIÓN DE CAUDAL POR PERCENTILES

Al evaluar el comportamiento demostrado por los cuantiles (ver Figura 2), se observa que la serie de caudales presenta dos puntos de inflexión, los cuales se encuentran cercanos al percentil 1% y 90%, en los que las tendencias presentan respectivamente de forma marcada una disminución y un incremento en sus magnitudes.



Así mismo, en términos generales se observa que la curva de distribución de percentiles es la característica de los ríos de alta montaña, en la que se observa un aumento progresivo en las magnitudes de caudal conforme incrementa el valor del percentil, en la que se aprecia que cerca del rango 80%-90% se presenta una gran variación entre las magnitudes de dicha variable.

Finalmente, se puede observar que la mediana de la serie se es equivalente a  $5,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , valor cercano al promedio de la serie  $6,41 \text{ m}^3/\text{s}$ .

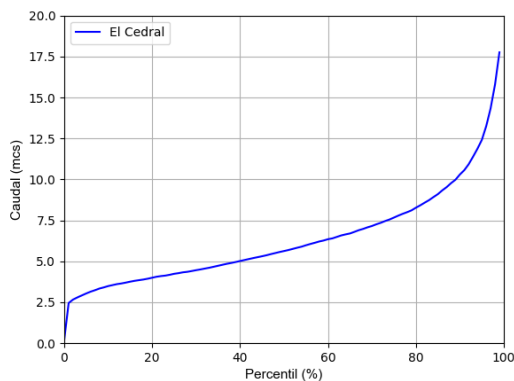


Figura 2. Curva de duración de caudales de la estación El Cedral – Cuenca del río San Andrés

#### 4. DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA DE CAUDALES

Como parte del análisis realizado a la serie de caudales de la estación El Cedral, se evaluó la distribución de probabilidad (ver Figura 3). Como resultado se obtuvo que los caudales con mayor esperanza de ocurrencia (cerca al 30%) se encontraban próximos al rango de  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  -  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ , teniendo como máximo valor probable  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Así mismo las magnitudes con menor probabilidad de ocurrencia (inferiores al 5%) se encuentran en el rango menor a  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  y en el rango superior a  $11 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Respecto a la tendencia general de la distribución de probabilidad, se observa un sesgo hacia la izquierda, centrándose en los

valores cercanos a  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  y disminuyendo de forma abrupta hacia sus caudales mínimos y de forma paulatina hacia sus máximos. Estos resultados serán retomados en el numeral 7 *Índice de Yule-Kendal*.

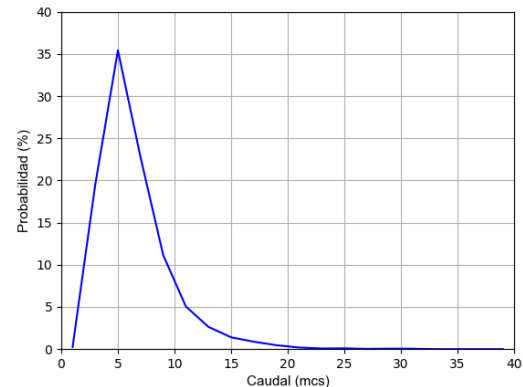


Figura 3. Curva de distribución probabilística de caudales para la estación El Cedral – Cuenca del río San Andrés

#### 5 ANÁLISIS DE PUNTOS CALIENTES

Como se mencionó al inicio del documento, dentro de los análisis realizados se encuentra el mapeo de puntos calientes o de acumulación de masas.

Para ello se recurrió a analizar por ventanas de tiempo la serie de la estación El Cedral, estudiando para cada intervalo su distribución de probabilidad. En este caso se seleccionó una ventana de análisis equivalente a 5 años, buscando tener en cuenta la variabilidad inducida a la serie de caudales por los fenómenos macroclimáticos (ENSO con periodo de recurrencia de 3-4 años).

Así mismo, se recurrió a utilizar intervalos de clasificación fijos cada  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , logrando tener de esta forma un total de 21 subgrupos de análisis. Con ellos se logró cubrir el espectro de variabilidad que poseen los registros de la estación El Cedral (máximos y mínimos).

En la Figura 4, se ilustran los resultados obtenidos después de realizar el mapeo de



distribuciones de probabilidad mediante la técnica de ventanas móviles.

Ojo! no son los ejes correctos

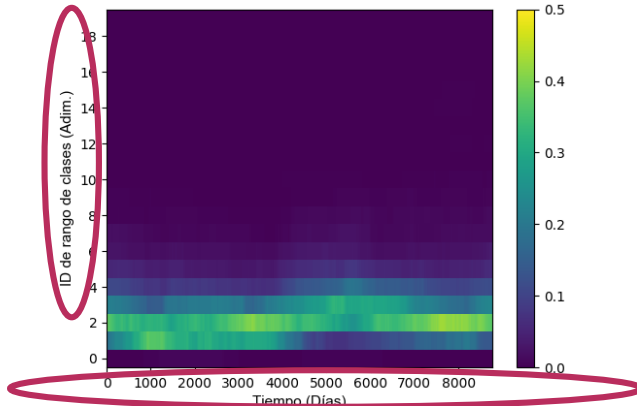


Figura 4. Análisis probabilístico de acumulación de masa para la estación El Cedral – Cuenca del río San Andrés

Al observar la anterior imagen, se puede identificar que para el periodo de análisis la mayor esperanza de ocurrencia se concentra en el rango de caudal comprendido entre los  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  (clases 1, 2 y 3 en la Figura 4). **Así mismo, se destaca que en el intervalo comprendido por los caudales de  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ , se concentra el mayor número de datos, lo que la convierte en la banda preferente de la serie.** Adicionalmente, se puede observar una clara variabilidad sobre las zonas donde se concentra la probabilidad de ocurrencia, la cual puede ser asociada a la presencia del ENSO, fenómeno que altera de forma temporal las magnitudes de caudal del río San Andrés.

#### 6 COMPARATIVO DE PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LOCALIZACIÓN Y DISPERSIÓN

Después de la aplicación de algunos parámetros estadísticos a toda la serie de caudales de la estación El Cedral, se procede a evaluar las métricas de localización y dispersión, pero esta vez usando ventanas móviles de longitud de 5 años. De forma inicial se presenta el comparativo realizado mediante la media, mediana y los cuantiles 10% y 90%. Posteriormente se ilustran los resultados

obtenidos luego de contrastar la desviación estándar y el índice inter-cuartil.

- **Media, mediana, cuantil 10 y cuantil 90**

Para la construcción de las métricas a comparar, se utilizó el procedimiento anteriormente descrito para obtener el mapa de puntos calientes de la serie. Los resultados obtenidos para la media, mediana y cuantiles se ilustran a continuación mediante la Figura 5.

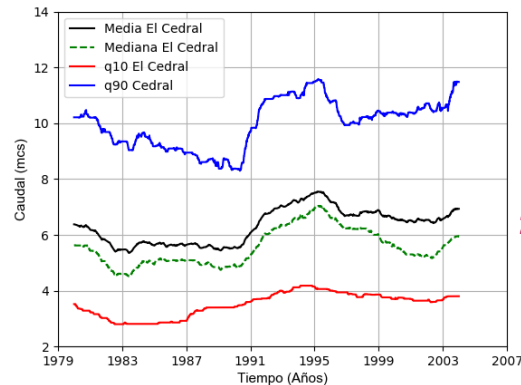


Figura 5. Comparativo del comportamiento móvil de la media, mediana y cuantiles 10 y 90 para la estación El Cedral – Cuenca del río San Andrés

Al analizar el comportamiento de la media y la mediana, se observa inicialmente una estrecha relación entre ambos parámetros, lo que explica la alta concentración de los datos en el rango  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $8 \text{ m}^3/\text{s}$ , y que quedó ilustrado mediante la Figura 4. Así mismo, se observa un comportamiento particular sobre las tendencias de ambas métricas, ya que, a partir del año 1991 se aprecia un incremento en sus magnitudes de caudal, las cuales se sostienen hasta el año 2003. Este mismo comportamiento se ve ratificado por los cuantiles 10% y 90%, para los cuales sus tendencias cambian a partir del mismo año.

Lo anterior pudiera obedecer al cambio de las curvas de calibración de la estación El Cedral, las cuales son la base para estimar el caudal en las fuentes hídricas que se encuentran bajo monitoreo.



• **Desviación estándar e índice Inter cuartil**

Análogo a lo anteriormente realizado, se procede a continuación a comparar las desviaciones estándar e índice inter-cuartil con el objetivo de estimar la variabilidad que posee la serie de caudales de la estación El Cedral.

Los resultados para ambas variables mediante la aplicación de la metodología de ventanas móviles se ilustran en la Figura 6.

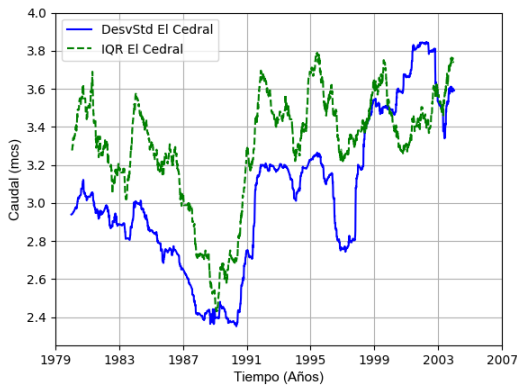


Figura 6. Comparativo del comportamiento de la desviación estándar e índice Inter cuartil para la estación El Cedral – Cuenca del río San Andrés

Los resultados obtenidos reflejan una aparente correlación entre la desviación estándar y el índice inter-cuartil. Ambas métricas reflejan un aumento en la variabilidad hacia el final de la serie de caudales, las cuales oscilan para ambos parámetros entre 2,7 m<sup>3</sup>/s 3,9 m<sup>3</sup>/s (para ventas de 5 años). Lo anterior junto con lo observado para la media móvil, hace que hacia el final de la longitud de registro se observen mayores magnitudes de caudal, tal como se observa en la Figura 1.

• **Índice de Yule-Kendal**

Con el objetivo de evaluar la asimetría que poseen los datos, se propuso estimar el coeficiente de Yule -Kendal. De nuevo se hizo uso de la metodología de ventanas móviles para identificar por subperiodos de análisis el comportamiento de este índice, logrando así identificar el sesgo y la forma

como se distribuyen los datos. A continuación, en la Figura 7 se ilustran los resultados obtenidos.

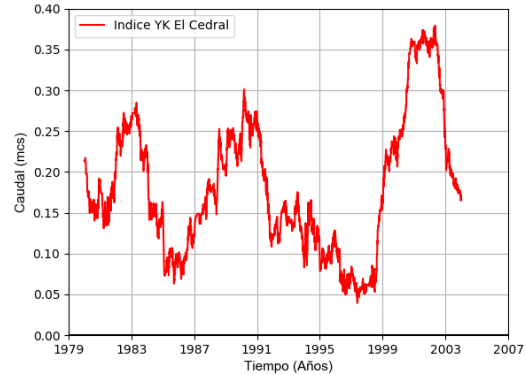


Figura 7. Análisis del comportamiento del índice Yule-Kendall para la estación El Cedral – Cuenca del río San Andrés

Inicialmente se observa que, durante la longitud de análisis el coeficiente de Yule-Kendal es mayor a cero. Este tipo de comportamiento indica que el sesgo es positivo, lo que ratifica para toda la serie de caudales el comportamiento ilustrado mediante la Figura 3, en la cual se observa una acumulación de datos (cola pesada) respecto al dato central hacia la izquierda.

**7 ANÁLISIS DE TENDENCIA MEDIANTE MANN-KENDALL**

Finalmente, con el objetivo de evaluar si la serie de caudales de la estación El Cedral posee tendencia, fue aplicado la prueba de Mann-Kendall. Como resultado de este test se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1 Parámetros obtenidos del test de Mann-Kendall

<i>z</i>	<i>Dist.Norm(z)</i>	<i>Incertid.</i>	<i>Tendencia</i>
14,90	1	0	Aumento

Con la aplicación del test de Mann-Kendall, se logró rechazar la hipótesis que la serie de caudal no posee tendencia. Además, se estimó que la anterior es de naturaleza creciente. Con ello se puede concluir que a largo plazo los caudales probablemente podrían seguir aumentando sus magnitudes.



Sin embargo, este hallazgo podría encontrarse condicionado ante la posibilidad de que a la estación IDEAM se le haya cambiado su curva de calibración, hipótesis que deberá ser comprobada más adelante.

Finalmente, es importante aclarar que el grado de incertidumbre se evaluó mediante la diferencia entre el valor unitario (1) y el valor de la distribución normal de "z" sobre dos, esto teniendo en cuenta que es un análisis de doble cola. Así mismo el calificativo dado a la tendencia (creciente o decreciente), se obtuvo mediante el signo que acompaña a "z", siendo una tendencia en aumento si se obtiene para dicha variable un valor positivo, o una tendencia decreciente si el valor es negativo.

## **8 CONCLUSIONES**

Al analizar la longitud total de datos, se obtuvo que la mediana de la serie es equivalente a  $5,6 \text{ m}^3/\text{s}$  y su media a  $6,41 \text{ m}^3/\text{s}$ , hecho que es consistente con los resultados obtenidos por la curva de distribución probabilística de caudal, en la que se logró estimar que los caudales con mayor esperanza de ocurrencia se encontraban próximos al rango de  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  (ver Figura 3 y Figura 4), siendo el máximo probable el valor de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  con un 35% de probabilidad de ocurrencia.

Respecto al análisis realizado mediante los parámetros estadísticos de localización y dispersión, se debe mencionar que se identificó un aparente cambio en el comportamiento de los caudales medios diarios del río San Andrés en la estación El Cedral. Este cambio se produce a partir del año 1991, en el que la media móvil presenta un aumento de magnitud, el cual se sostiene por más de 12 años. Este cambio también se observa en las tendencias de los cuantiles 10% y 90%. Así mismo el índice inter-cuartil y la desviación estándar muestran un incremento de la variabilidad de la serie caudales hacia el final de la longitud de registro.

El anterior comportamiento puede obedecer a que IDEAM probablemente cambió la curva de calibración de dicha estación desde

el año 1991, lo que en efecto cambia el comportamiento de la serie de caudales.

Finalmente, mediante el test de Mann-Kendall se obtuvo que la serie probablemente posee una tendencia creciente, pero que, según lo anteriormente descrito, se permite establecer la hipótesis de que este resultado se encuentra afectado ante el posible cambio de la curva de calibración de la estación IDEAM.

La conclusión está incompleta, además falta el análisis para lo demás estadísticos