

Estudio de la disponibilidad de recursos hídricos en el municipio de Subachoque

MANUEL NIÑO

¹Universidad Nacional de Colombia

1 abstract

[El presente documento muestra un resumen del análisis estadístico realizado a los datos obtenidos de las estaciones limnimétricas y pluviométricas que tiene la CAR Cundinamarca en la jurisdicción de los municipios de Subachoque y El Rosal y que monitorean la cuenca del río Subachoque. Se presentarán los datos generales de estas estaciones, como sus coordenadas y un mapa con su ubicación en la zona de estudio y a su vez la ubicación de la zona con respecto a Bogotá. Adicionalmente, se presentará una tabla resumen con los estadísticos básicos y las características de cada una de las series de tiempo presentadas, las cuales incluyen valores de caudal medio mensual (m^3/s), nivel medio mensual del río (cm), nivel mínimo mensual (cm) y la precipitación mensual (mm) en zonas cercanas a la cuenca del río. También se presentarán los resultados gráficos de este análisis para, finalmente en una tabla, sintetizar los resultados.]

Palabras clave

[Media, Varianza, Caudal, Precipitación, Nivel, Cuenca, Histograma, Correlograma, Correlación, Estadísticos, Series de tiempo]

2 Introducción

Las estaciones de monitoreo puestas en servicio por la CAR y el IDEAM son de gran importancia para la recopilación de datos relacionada con los recursos hídricos de una determinada región, ya que, el análisis de estos datos nos permite tomar decisiones y plantear acciones de mejora con respecto al manejo y la gestión del agua disponible en una región. La inclusión de diferentes herramientas estadísticas, como los histogramas, las series de tiempo, los boxplot y los correlogramas, son de gran ayuda para poder identificar tendencias en los datos como disminución de los niveles medios de los ríos en los últimos años, identificar momentos con baja disponibilidad de agua a lo largo del periodo evaluado, además, al tener estaciones que cubran adecuadamente la región estudiada, es posible identificar zonas en las que se deba evaluar y/o intervenir para solucionar una problemática, que como en el caso de este trabajo se relaciona con la disponibilidad de agua para las personas aguas abajo del río.

3 Estaciones

Para el desarrollo del análisis estadístico, se tomaron en cuenta un total de 10 estaciones, 5 pluviométricas y 5 limnimétricas, con el fin de obtener datos de caudal, nivel medio, nivel mínimo y precipitación mensual, con una distribución tal que cubriera desde la zona cercana al nacimiento del río Subachoque hasta parte baja de la cuenca ubicada en jurisdicción del municipio homónimo. Las estaciones y sus coordenadas se muestran resumidas en la siguiente tabla:

Corresponding author: Manuel Niño, mninos@unal.edu.co

Table 1. Geodata de las Estaciones

Estación	Tipo	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
Guamal	Limnimétrica	5.01775	-74.12127778	2850
La Prdera (LM)	Limnimétrica	5.002583333	-74.13213889	2739
Pte. Manrique	Limnimétrica	4.912777778	-74.17533333	2639
La Muralla	Limnimétrica	4.864611111	-74.19122222	2622
El Bosque	Limnimétrica	4.829861111	-74.22577778	2592
Planadas	Pluviométrica	5.059472222	-74.10955556	3357
La Pradera (PG)	Pluviométrica	5.009111111	-74.13605556	2824
La Primavera	Pluviométrica	4.857861111	-74.21194444	2623
La Unión	Pluviométrica	4.874722222	-74.25138889	2652
Las Margaritas	Pluviométrica	4.832583333	-74.25019444	2602

La ubicación de las estaciones en el área de estudio puede apreciarse mejor en el *Anexo 1. Mapa de las estaciones.pdf*.

4 Tabla resumen

Para todas las series de datos recopiladas, se evaluaron los estadísticos básicos como media, mediana, desviación estándar, varianza, etc. Las series de tiempo completas pueden ser consultadas en el *Anexo 2. Repositorio de datos.xlsx*. El resumen de los resultados obtenidos es el siguiente:

Table 2. Geodata de las Estaciones

Estación	Parámetro	Longitud de la Serie	Media	Mediana	Varianza	Desviación Estándar	Coficiente de Variación	Asimetría	Curtosis
Guamal	Q (m3/s)	271	0.435	0.251	0.255	0.505	1.162	2.601	7.654
La Pradera	Q (m3/s)	365	0.387	0.264	0.189	0.435	1.125	4.926	41.664
Pte Manrique	Q (m3/s)	271	0.811	0.577	0.784	0.885	1.092	3.813	22.645
La Muralla	Q (m3/s)	318	0.87	0.5575	1.103	1.05	1.207	3.119	13.256
El Bosque	Q (m3/s)	328	1.067	0.593	1.941	1.393	1.306	2.721	8.537
Guamal	N. medio (cm)	271	34	34	190.311	13.795	0.406	-0.08	-0.081
La Pradera	N. medio (cm)	367	46.629	44	409.944	20.247	0.434	0.426	-0.465
Pte Manrique	N. medio (cm)	368	87.649	89	840.768	28.996	0.331	0.677	2.688
La Muralla	N. medio (cm)	317	77.625	73	1094.387	33.082	0.426	0.574	1.083
El Bosque	N. medio (cm)	339	72.847	69	1254.16	35.414	0.486	0.679	0.613
Guamal	N. mínimo (cm)	271	26.613	28	117.853	10.856	0.408	-0.695	0.005
La Pradera	N. mínimo (cm)	367	38.76	38	320.451	17.901	0.462	0.532	-0.187
Pte Manrique	N. mínimo (cm)	368	71.573	75	568.861	23.851	0.333	-0.085	1.299
La Muralla	N. mínimo (cm)	317	54.893	58	811.242	28.482	0.519	-0.118	0.118
El Bosque	N. mínimo (cm)	339	51.684	50	823.092	28.69	0.555	0.662	1.441
Planadas	P (mm)	180	90.632	82.2	3219.548	56.741	0.626	1.118	1.359
La Primavera	P (mm)	366	72.104	70.45	2057.448	45.359	0.629	1.643	5.694
La Pradera	P (mm)	360	72.49	69.6	2237	47.297	0.652	1.045	1.533
La Unión	P (mm)	360	88.104	74.8	3829.696	61.885	0.702	1.214	2.191
Las Margaritas	P (mm)	362	131.854	95.5	13300.018	115.326	0.875	1.569	2.883

5 Análisis gráfico

El análisis gráfico de cada uno de los parámetros incluye la las series de tiempo entre enero de 1991 y diciembre de 2021 de cada estación, tanto superpuestas como de manera individual, incluye también los histogramas de cada serie, los boxplot, los correlogramas y los periodogramas, esto para cada uno de los 4 parámetros evaluados.

5.1 Caudal medio mensual

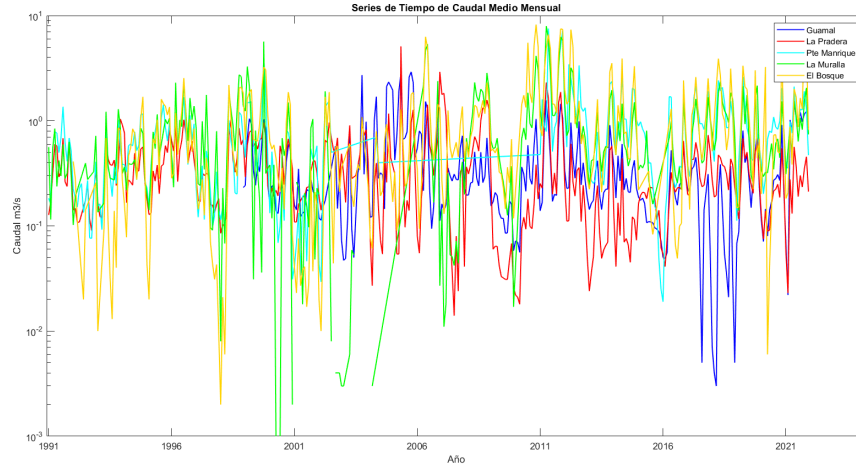


Figure 1. Series de tiempo de caudales

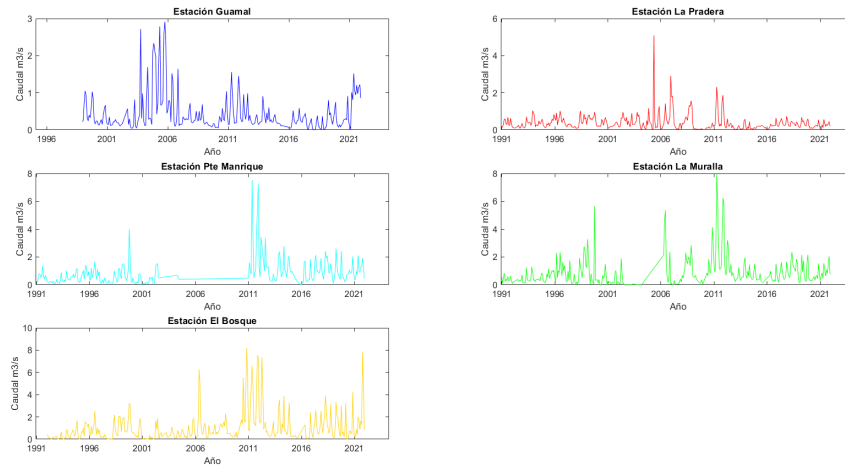


Figure 2. Series de tiempo de caudales por estación

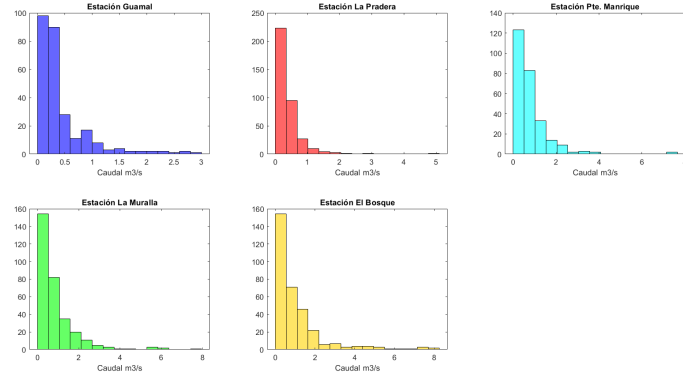


Figure 3. Histogramas de caudales

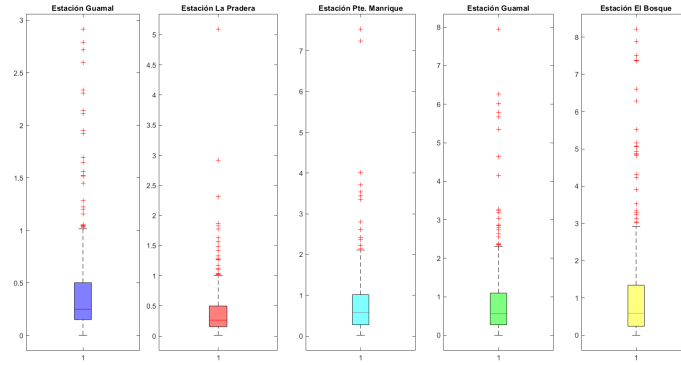


Figure 4. Boxplots de caudales

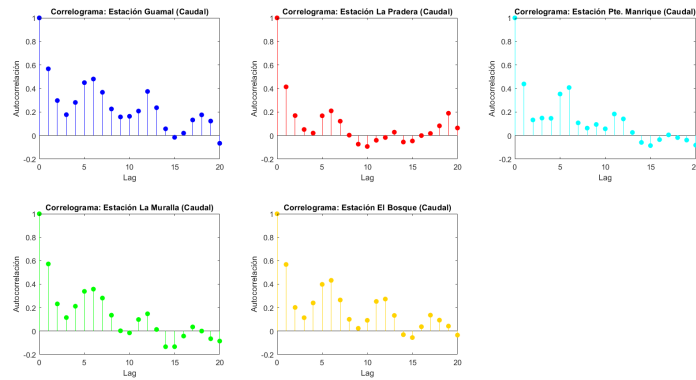


Figure 5. Correlograma de caudales

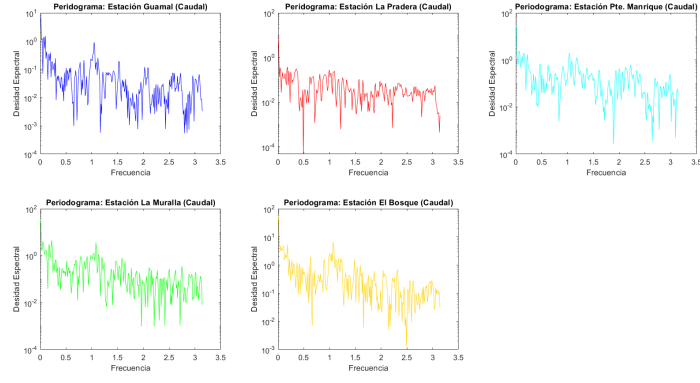


Figure 6. Periodogramas de caudal

5.2 Nivel medio mensual

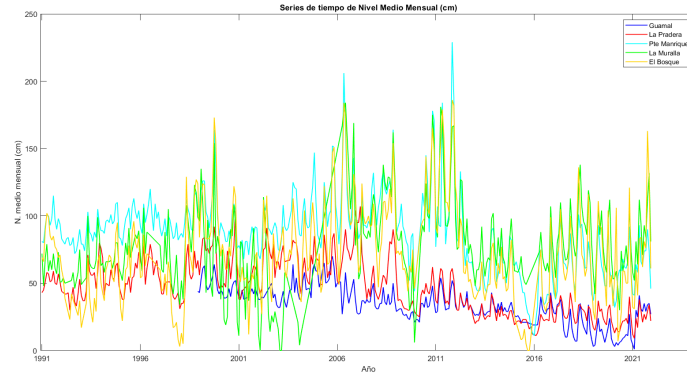


Figure 7. Series de tiempo de Nivel Medio Mensual

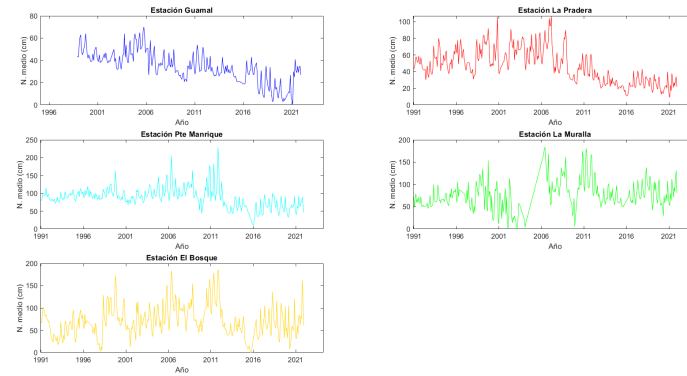


Figure 8. Series de tiempo de Nivel Medio Mensual por estación

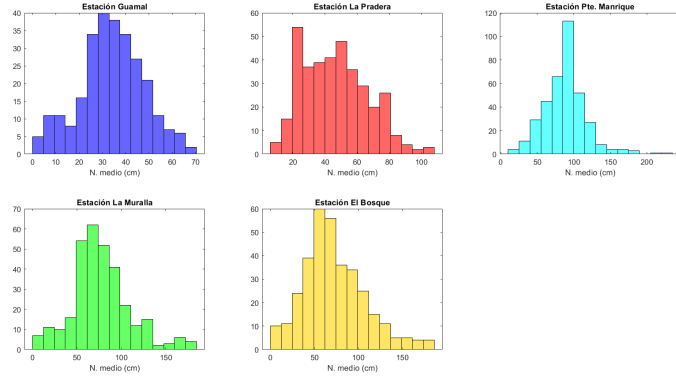


Figure 9. Histogramas de Nivel Medio Mensual

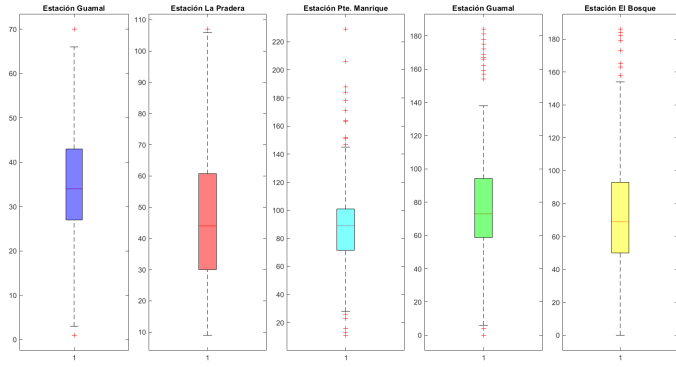


Figure 10. Boxplots de Nivel Medio Mensual

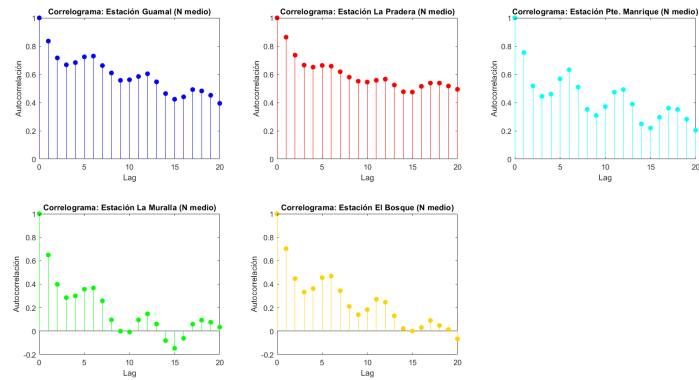


Figure 11. Correlograma de Nivel Medio Mensual

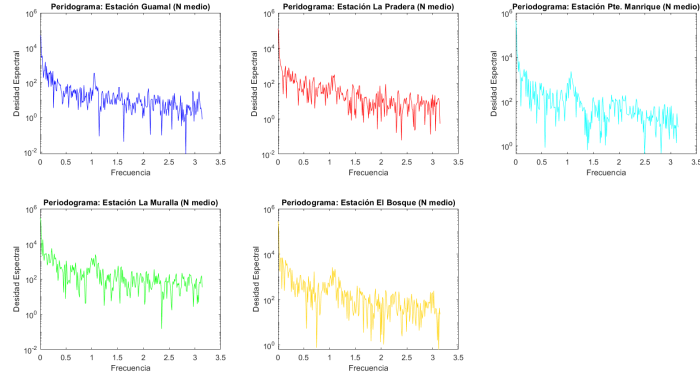


Figure 12. Periodogramas de Nivel Medio Mensual

5.3 Caudal mínimo mensual

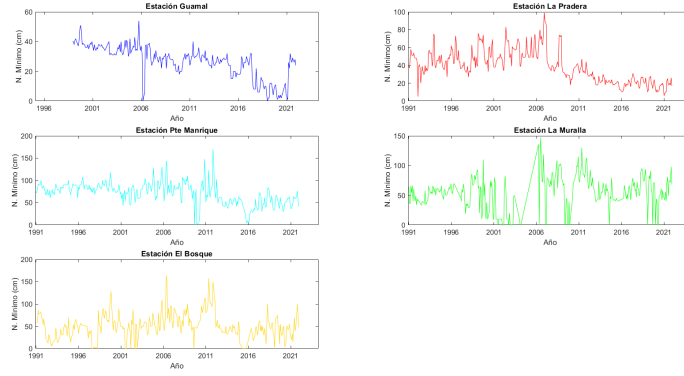


Figure 13. Series de tiempo de Nivel Mínimo Mensual

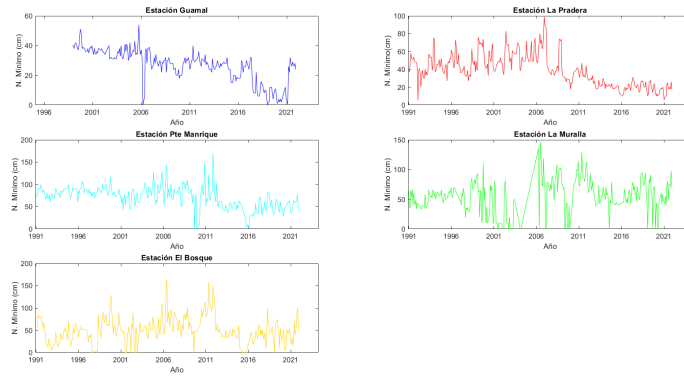


Figure 14. Series de tiempo de Nivel Mínimo Mensual por estación

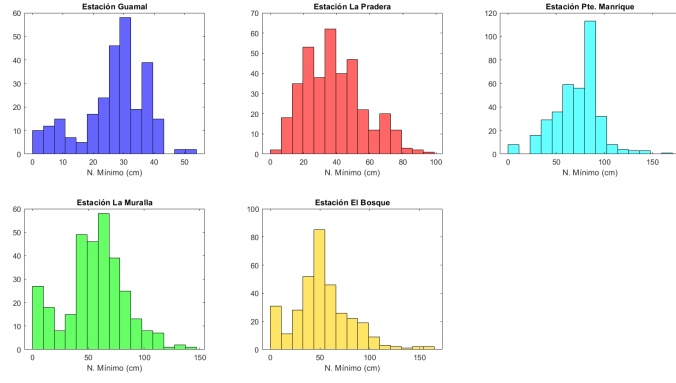


Figure 15. Histogramas de Nivel Mínimo Mensual

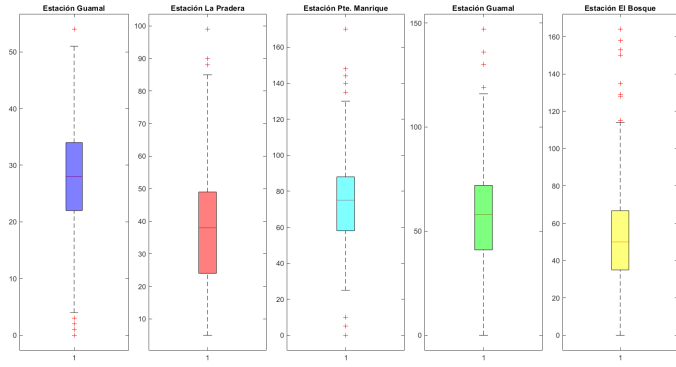


Figure 16. Boxplots de Nivel Mínimo Mensual

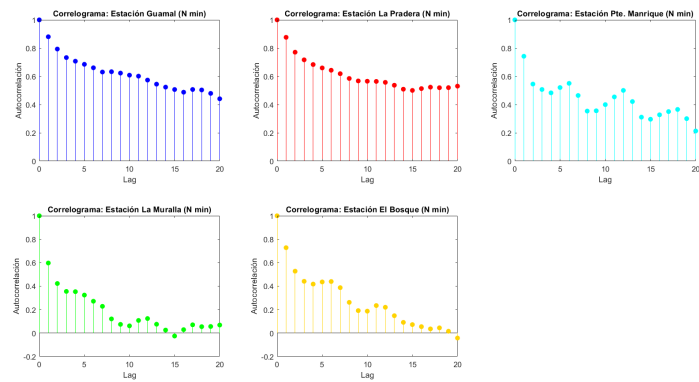


Figure 17. Correlograma de Nivel Mínimo Mensual

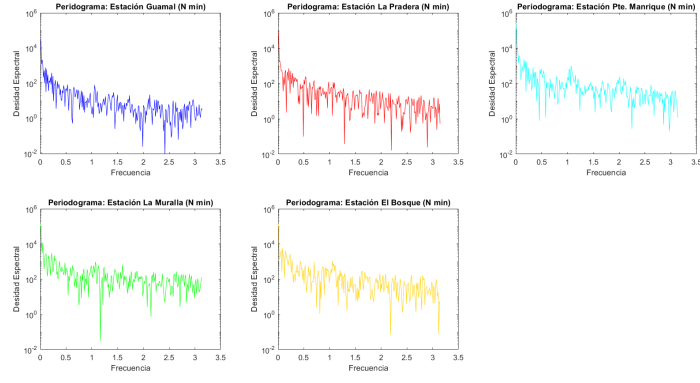


Figure 18. Periodogramas de Nivel Mínimo Mensual

5.4 Precipitación mensual

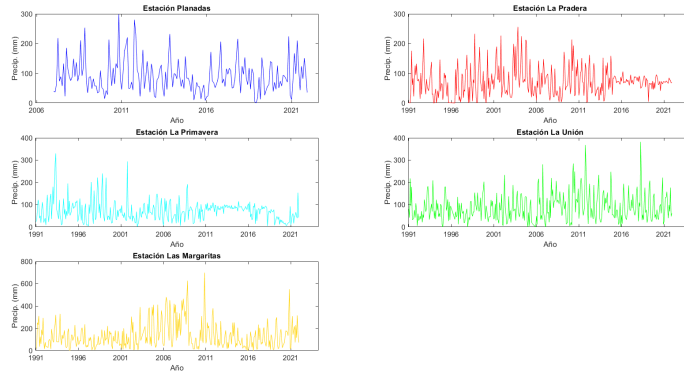


Figure 19. Series de tiempo de Precipitación mensual

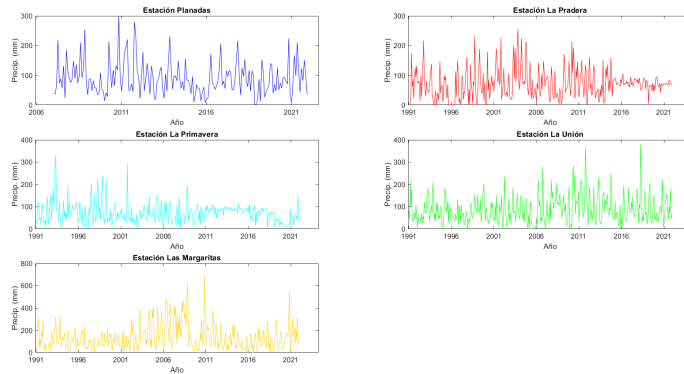


Figure 20. Series de tiempo de Precipitación mensual por estación

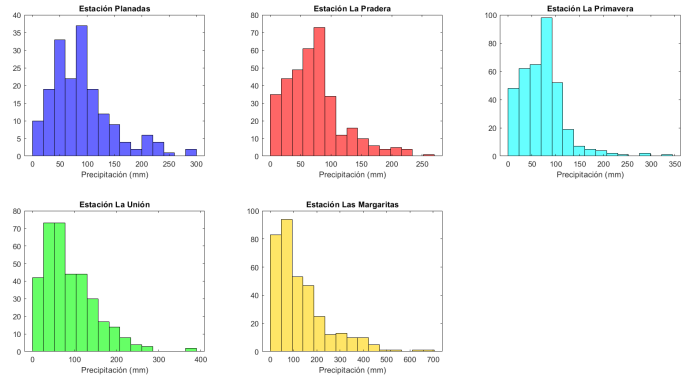


Figure 21. Histogramas de Precipitación mensual

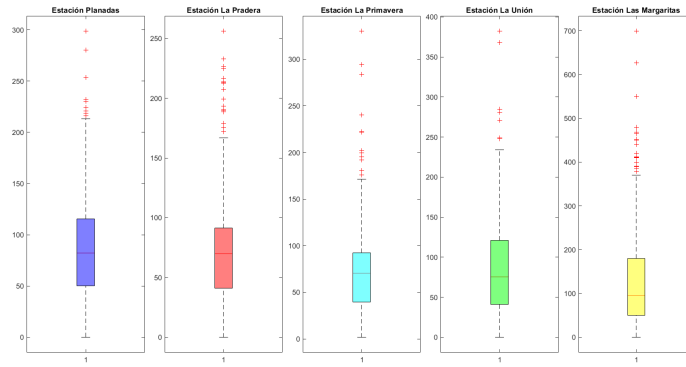


Figure 22. Boxplots de Precipitación mensual

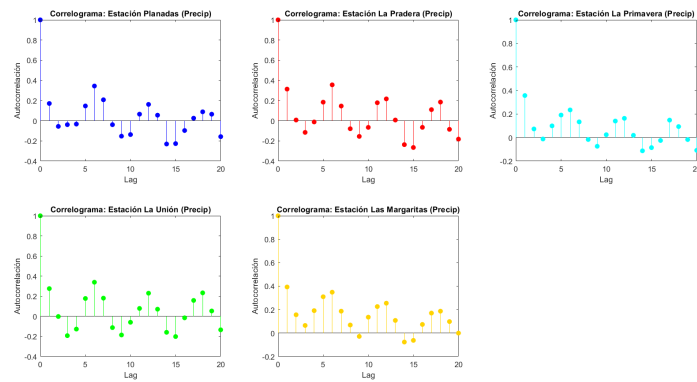


Figure 23. Correlograma de Precipitación mensual

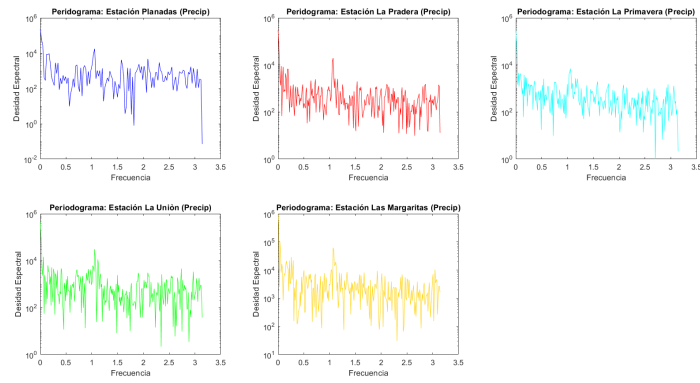


Figure 24. Periodogramas de Precipitación mensual

5.5 Matriz de Correlación

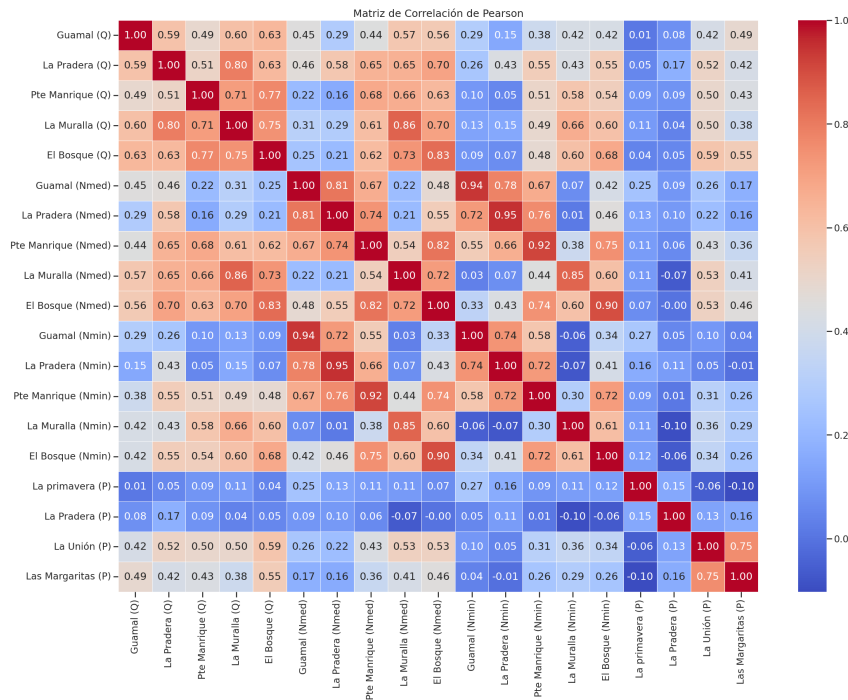


Figure 25. Matriz de Correlación entre todas las variables

6 Síntesis de resultados

Finalmente, se presenta una síntesis de los resultados en la siguiente tabla, en donde se incluye el análisis de los estadísticos y de los gráficos obtenidos en cada uno de los parámetros evaluados.

Parámetro	Objeto de Análisis	Síntesis
Caudal medio mensual	Estadísticos	Al evaluar los estadísticos de los datos de caudal en cada estación, en primer lugar, es interesante ver como a pesar de que la estación Guamal está aguas arriba de la estación La Pradera, está tiene un caudal promedio superior, lo cual es una prueba de que se extrae una cantidad considerable de agua entre la vereda El Guamal y el corregimiento de La Pradera, esto teniendo en cuenta que el río es alimentado por arroyos y quebradas en este tramo. También es interesante ver que la mediana de los datos es bastante inferior a la media, lo cual indica que es una serie de datos bastante sesgada, lo cual se comprueba con los altos valores de asimetría. Adicionalmente, a pesar de los bajos valores de desviación estándar (comparados con los demás parámetros evaluados) estas series de datos presentan el mayor coeficiente de variación.
Caudal medio mensual	Serie de Tiempo	Aunque es posible ver el valor medio del caudal va aumentando a medida que el río sigue su curso aguas abajo, es posible observar en la serie de tiempo que los valores de caudal más bajo se presentan en la estación la muralla que se encuentra ubicada en la zona más crítica cuando hablamos del desabastecimiento de agua para los campesinos de la región, en la estación el bosque también se observa que se han presentado algunos mínimos considerables y teniendo en cuenta que cada punto representa un valor mensual, podemos suponer lo crítica que puede llegar a ser la situación de tener caudales tan bajos durante un periodo de tiempo prolongado, este análisis puede llevarnos a pensar que en alguna época del año se usa indebidamente el agua en el tramo comprendido entre el casco urbano del municipio, muy cerca de donde se encuentra la estación Puente Manrique, y la vereda La Cuesta, en donde está la estación La Muralla.
Caudal medio mensual	Histograma	Los histogramas reflejan el valor de asimetría obtenido anteriormente, ya que, se evidencia su sesgo a la izquierda, estando la mayoría de valores de caudal entre 0 y 1 m ³ /s. Adicionalmente, se observa como a medida que el río fluye, las crecientes se hacen mayores y más frecuentes, esto se puede evidenciar a pesar de que se trata de datos mensuales, esto se evidencia al comparar la estación El Bosque (la que está más aguas abajo) y la estación El Guamal (No muy lejos del nacimiento del río) y ver como se tienen meses con un caudal de 8 m ³ /s en promedio en la primera mientras que en la otra apenas se llega a los 3 m ³ /s.

Parámetro	Objeto de Análisis	Síntesis
Caudal medio mensual	Correlograma y periodograma	De los correlogramas es posible evaluar la periodicidad que tienen los caudales del río, ya que, la autocovarianza presenta ciertas fluctuaciones que son evidencia de la estacionalidad del fenómeno y su repetición aproximadamente cada 6 meses como indican los picos de los correlogramas.
Caudal medio mensual	Correlograma y periodograma	De los correlogramas es posible evaluar la periodicidad que tienen los caudales del río, ya que, la autocovarianza presenta ciertas fluctuaciones que son evidencia de la estacionalidad del fenómeno y su repetición aproximadamente cada 6 meses como indican los picos de los correlogramas.
Caudal medio mensual	Boxplot	Los Boxplot son otra prueba de lo concentrados que se encuentran los valores de caudal, tendiendo a ser relativamente bajos, con una considerable cantidad de datos atípicos que muestran la ocurrencia de crecientes.
Nivel medio mensual	Estadísticos	De la media de estos datos, un aspecto a resaltar es que el nivel promedio más alto se encuentra en la parte media del tramo (Puente Manrique) la cual no es la zona donde el río es más caudaloso, esto puede indicar un menor ancho en el río, haciendo que pueda ser una zona vulnerable a inundaciones. En este caso los datos siguen una distribución más homogénea, con mediana similar a la media y coeficiente de variación bajo. Adicionalmente, las curtosis y la asimetría son cercanas a 0 lo cual puede ser indicio de que los datos siguen una distribución normal.
Nivel medio mensual	Serie de Tiempo	En concordancia con las series de caudales, las estaciones aguas abajo (La Muralla y El Bosque) presentan valles pronunciados que dan cuenta de la problemática presente en la zona con el desabastecimiento de agua del río. Adicionalmente, se puede ver una disminución considerable en el nivel del río en los últimos 5 años de los datos, principalmente en la parte alta de la cuenca (Guamal y La Pradera) que puede ser indicativo de daños ambientales en la zona donde nace el río, provocando una menor disponibilidad de agua para el afluente.
Nivel medio mensual	Histograma	A pesar de tener medias diferentes, los caudales medidos en cada una de las estaciones parecen seguir una distribución de probabilidad muy similar, que a su vez parece tener un comportamiento normal.

Parámetro	Objeto de Análisis	Síntesis
Nivel medio mensual	Correlograma y peri-odograma	Se puede observar en las estaciones aguas arriba (Guamal, La Pradera y Puente Manrique) una alta correlación entre los niveles de un mes y los de los meses siguientes, teniendo valores importantes incluso después de un lag igual a 20, esto es indicativo de una baja variabilidad temporal de los niveles del río en esta zona. Por otro lado, aguas abajo la autocorrelación disminuye considerablemente, indicando mayor variabilidad en los datos. Una hipótesis es que esta situación se presente debido la varianza que se acumula a medida que el río va recibiendo el agua de riachuelos y quebradas en su curso, ya que, el nivel de estas y la cantidad de agua entregada también varía.
Nivel medio mensual	Boxplot	Tal y como lo mostraron los correlogramas, es posible ver una distribución uniforme en los datos de las estaciones aguas arriba, que tienen muy pocos datos atípicos. Por otro lado, es interesante ver como la estación Puente Manrique tiene un gran rango de valores, que incluyen los valores más altos de todos los registrados.
Nivel mínimo mensual	Estadísticos	En general, los estadísticos para las series de niveles mínimos mensuales presentan un comportamiento muy similar al de los niveles medios, aunque con magnitudes menores. Pero en general se puede ver que los datos son uniformes y podríamos empezar a especular que sigan una distribución normal.
Nivel mínimo mensual	Serie de Tiempo	La serie de tiempo de los niveles mínimos pone en evidencia que para las estaciones aguas abajo, en diversas ocasiones del periodo considerado, esta zona ha quedado con niveles de agua por debajo de los 20 cm e incluso cercanos a 0. Además, esta serie de tiempo hace aún más evidente el problema que se presenta en los últimos años en la cuenca alta del río, presentando muchos niveles bajos mensualmente.
Nivel mínimo mensual	Histograma	En los histogramas se hace más evidente la cantidad de meses en los que el nivel del río ha llegado a valores entre los 0 y 10 cm en la zona ubicada aguas abajo.

Parámetro	Objeto de Análisis	Síntesis
Nivel mínimo mensual	Correlograma y peri-odograma	El correlograma muestra nuevamente la tendencia de una mayor estabilidad en los niveles en la zona alta de la cuenca del río que para la parte baja.
Nivel mínimo mensual	Boxplot	Para los niveles mínimos, los boxplot muestran que los datos están más dispersos que en el caso de los niveles medios. También es interesante ver que la cantidad de datos bajos en las 2 últimas estaciones (El Bosque y La Muralla) es tal, que valores cercanos o iguales a 0 no son atípicos, estos es una muestra de que la situación de desabastecimiento de agua del río en esta zona se presenta con frecuencia, lo que implica que debe controlar más el uso del recurso aguas arriba.
Precipitación	Estadísticos	En primer lugar, se destaca que las series de precipitación son las que están más completas y presentan menor cantidad de datos faltantes. Adicionalmente, los estadísticos indican que la distribución de probabilidad de este parámetro está sesgada a la izquierda y presenta variación, aunque no tanto como los caudales, indicando que no hay valores tan extremos en la precipitación mensual como si los hay en los caudales.
Precipitación	Serie de Tiempo	El primer aspecto destacable de la serie de tiempo es que nos muestra que la precipitación es mayor en la zona aguas debajo de la cuenca (Estación Las Margaritas) mientras que en la zona media y en la parte alta, que varían entre los 3300 y los 2650 msnm aproximadamente, el régimen de lluvias es similar, al menos en cuanto a la magnitud de los picos de lluvia. Por otro lado, se puede ver que el régimen de lluvias se ha mantenido estable en el periodo evaluado, con valores que fluctúan alrededor de un valor medio.
Precipitación	Histograma	Los histogramas ponen en evidencia el sesgo existente en la distribución de probabilidad de la precipitación en cada estación, siendo más evidente aguas abajo. Adicionalmente, muestran claramente que a medida que se baja por el curso del río, los eventos de precipitación extremos son más frecuentes.
Precipitación	Correlograma y peri-odograma	Los correlogramas muestran en todos los casos un comportamiento similar, mostrando la ciclicidad del régimen de lluvias que parece repetirse cada 6 meses aproximadamente, coincidiendo con los picos en cada correlograma.
Precipitación	Boxplot	Los Boxplot muestran la presencia de valores atípicos, que son sustancialmente más altos que la media, incluso hasta 7 veces mayores, mientras que los meses secos no parecen representar una gran variabilidad en el gráfico.

Parámetro	Objeto de Análisis	Síntesis
General	Matriz de Correlación	<p>Para la matriz de correlación se tomaron los meses en los cuales todas las estaciones tuvieran datos y encontró la correlación sin aplicar ningún lag entre las diferentes variables, principalmente porque se trataban de valores mensuales y en dado caso de haber correlación por ejemplo entre precipitación y caudal, este efecto se vería reflejado en el mismo mes. Al observar la matriz de correlaciones, lo primero que se puede apreciar es la baja correlación entre la precipitación y los demás parámetros, lo cual puede ser evidencia de que el agua que alimenta el río no procede en su mayoría de la lluvia, aunque también podría indicar la alta variabilidad espacial que tiene la precipitación en esta región, ya que, las estaciones de las que se tomaron los valores de precipitación están ubicadas en sitios diferentes (aunque cercanos) a las estaciones Limnimétricas, otra prueba de la gran variabilidad de la precipitación es la baja correlación entre los conjuntos de datos de precipitación de cada estación. Por otro lado, los caudales sí tienen correlaciones considerablemente más altas, al igual que los caudales y el nivel principalmente aguas abajo.</p>

7 Anexos

- Anexo 1. Mapa de las estaciones.pdf
- Anexo 2. Repositorio de datos.xlsx
- Anexo 3. GEODATA ESTACIONES.cvs
- Anexo 4. GEODATA ESTACIONES.shx
- Anexo 5. GEODATA ESTACIONES.shp
- Anexo 6. Dashboard.pbix
- Anexo 7. Tabla de síntesis.pdf