



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XIX/ Volumen 21/ Edición N.41
Enero - junio de 2024
Reia4107 pp. 1-19

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /
TO REFERENCE THIS ARTICLE /**

Bolivar Diaz, R. A.; Ivanova, Y.
Estudio De Teleconexiones: Oferta
Hídrica En Santa Marta Versus
Fenómenos Macroclimáticos.
Revista EIA, 21(41), Reia4107.
pp. 1-19.
<https://doi.org/10.24050/reia.v21i41.1721>

 *Autor de correspondencia:*

Bolivar Diaz, R. A
Ing. Civil
Universidad Militar Nueva Granada
Correo electrónico:
rafabolivar420@gmail.com

Recibido: 26-07-2023
Aceptado: 09-11-2023
Disponible online: 01-01-2024

Estudio De Teleconexiones: Oferta Hídrica En Santa Marta Versus Fenómenos Macroclimáticos.

 Rafael Alfonso Bolivar Diaz=Granados¹
Yulia Ivanova¹

1. Universidad Militar Nueva Granada

RESUMEN

En los últimos años se han presentado unos episodios de reducción de la disponibilidad del agua en las cuencas abastecedoras de la ciudad de Santa Marta que han generado escasez del recurso hídrico. El presente trabajo profundiza en el conocimiento sobre la sensibilidad de la oferta hídrica frente a los fenómenos macro climáticos ENSO y Oscilación Cuasibienal. Para evaluar dicha influencia, se construyeron las teleconexiones a través del análisis correlacional entre las series hidroclimatológicas e índices macroclimáticos evaluando la significancia estadística a través de la prueba t Student. Los resultados obtenidos indican que el fenómeno ENSO tiene un impacto estadísticamente significativo sobre el régimen hidrometeorológico de la zona. La fase cálida del evento se refleja en un incremento de temperaturas medias y disminución de la oferta hídrica en las cuencas de los ríos Manzanares y Piedras, mientras que en la cuenca del río Gaira se observa un incremento de la disponibilidad hídrica, debido a que el crecimiento de las temperaturas produce proceso de derretimiento del glaciar de la Sierra Nevada de Santa Marta y, como consecuencia, el incremento de su escorrentía. Teniendo en cuenta la cercanía de la zona del estudio al océano Pacífico, donde nace el fenómeno ENSO, la señal macro climática se manifiesta sobre el régimen hidroclimático el mismo mes. El análisis de teleconexiones entre las variables hidrometeorológicas versus el evento de Oscilación cuasibienal arrojó que no existe una relación estadísticamente significativa entre estas variables. Esto indica que el régimen hídrico no depende de este fenómeno macro climático. Se puede concluir que el régimen hídrico de las cuencas abastecedoras de la ciudad de Santa Marta depende en un del 17 al 33 % del fenómeno ENSO y la falta de monitoreo hidrológico en una de las cuencas hacen vulnerable el sistema de abastecimiento hídrico de la ciudad. Por lo cual, se propone realizar un estudio de instrumentación de las cuencas con el fin de disponer de un sistema de monitoreo eficiente para una adecuada gestión del recurso hídrico y del sistema de abastecimiento de la ciudad.

Palabras clave: Abastecimiento Del Agua; Disponibilidad Del Agua; Hidroclimatología; Indicador Climático; Riesgo Climático; Fenómenos Macroclimáticos; Precipitaciones; Teleconexiones; Cuencas Hidrograficas; Gestión Del Agua.

Study Of Teleconnections: The Water Supply Of Santa Marta City Its Supplying Basins Versus Macro Climatic Phenomena.

Abstract:

In recent years, episodes of reduced water availability have occurred in the supplying basins of the city of Santa Marta, leading to a scarcity of water resources. This study delves into understanding the sensitivity of water supply to the macro-climatic phenomena of ENSO (El Niño-Southern Oscillation) and QBO (Quasi-Biennial Oscillation). To assess their influence, teleconnections were established through correlational analysis between hydro climatological series and macroclimatic indices, with statistical significance evaluated using the Student's t-test. The obtained results indicate that the ENSO phenomenon has a statistically significant impact on the hydro-meteorological regime of the area. During the warm phase of the event, there is an increase in average temperatures and a decrease in water availability in the Manzanares and Piedras river basins. Conversely, the Gaira River basin experiences increased water availability due to the melting of the glaciers in the Sierra Nevada de Santa Marta caused by rising temperatures, resulting in an increase in runoff. Given the proximity of the study area to the Pacific Ocean, where the ENSO phenomenon originates, the macro-climatic signal manifests on the hydroclimatic regime during the same month. On the other hand, the analysis of teleconnections between hydro-meteorological variables and the Quasi-Biennial Oscillation event revealed that there is no statistically significant relationship between these variables. This indicates that the water regime is not dependent on this macro-climatic phenomenon. In conclusion, the water regime in the supplying basins of the city of Santa Marta is influenced by ENSO to a degree of 17 to 33%, and the lack of hydrological monitoring in one of the basins makes the city's water supply system vulnerable. Therefore, it is proposed to conduct a study for instrumenting the basins to establish an efficient monitoring system for proper water resource management and city water supply.

Keywords: Water supply; water availability; hydroclimatology; climate indicator; climate risk; macroclimatic phenomena; precipitation; teleconnections; hydrographic basins; water management.

1. Introducción

El régimen pluviométrico define la oferta y la disponibilidad del recurso hídrico y, como consecuencia, condiciona las actividades socioeconómicas dependientes del agua. En su parte, en diferentes lugares del mundo la pluviosidad depende de los diferentes fenómenos macroclimáticos como ENSO (Veiga, 2022), Oscilación Cuasibienal (Habtegebreal, 2021), Madden – Julian (Dey, 2022), entre otros. El efecto de estos fenómenos se refleja en la alteración del régimen de precipitaciones tanto en su oferta como en su variabilidad. Esta incide sobre los sectores económicos dependientes del recurso hídrico como agricultura (Ncoyini, 2022), pasca (R Puspasari, 2021), generación de hidro - energía (Bal, 2021) y sobre la disponibilidad del agua para consumo humano (Das, 2021). Así mismo, la alteración del régimen hídrico puede generar riesgos de inundaciones (Ibrahim, 2021) o sequías (Ncoyini, Limited access and use of climate information by small-scale sugarcane farmers in South Africa: A case study, 2022) en diferentes partes del mundo. El impacto de los fenómenos marco climáticos es demostrado sobre diferentes ecosistemas como páramos (Quesada-Román, 2020), nevados (Yi, 2021) y manglares (Abhik, 2021).

Colombia no es ajena al abanico de los efectos de los fenómenos macro climáticos sobre el recurso hídrico (Poveda, 2004) y es demostrado su efecto sobre la agricultura (Barrios-Perez, 2021), afectación de las afluencias a los embalses (Henaó, 2020) y otros sectores económicos. Igualmente, diferentes estudios confirman que el fenómeno ENSO afecta los ecosistemas de páramos (Quesada-Román, 2020), pero es desconocido su impacto sobre los nevados colombianos que son estratégicos desde el punto de vista de biodiversidad y suministro de agua (Wang, 2022).

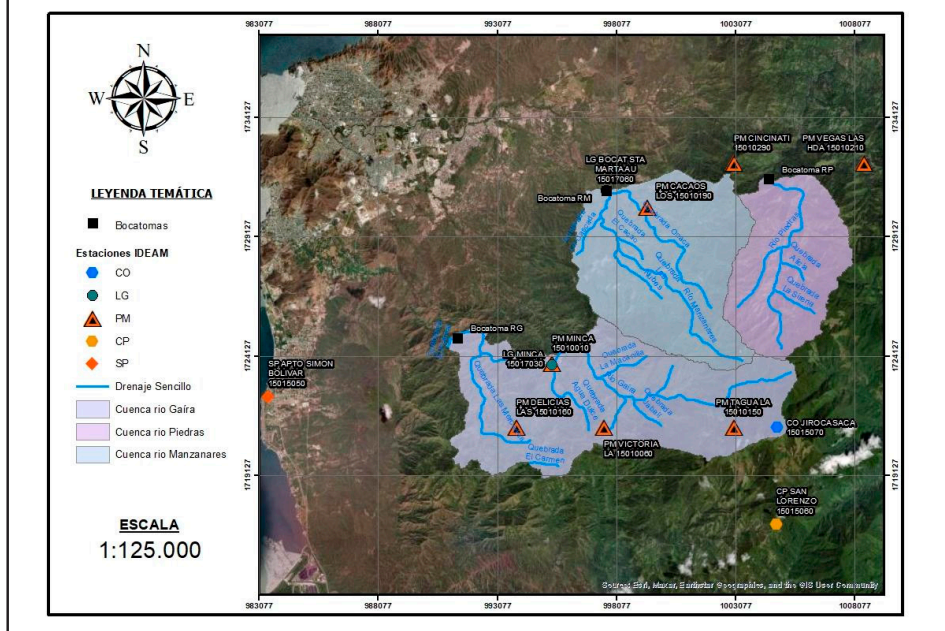
En la ciudad de Santa Marta el sistema de abastecimiento de agua depende de las tres fuentes hídricas, donde dos de estas —río Manzanares y río Piedra— suministran al 70% de la población de Santa Marta, llegando desde el corregimiento de Taganga y el sistema del sur, donde hasta fechas del 2014 de estas dos fuentes se adjudican 330 L/s y 435 L/s respectivamente. La tercera fuente —río Gaira— completa el otro 30% restante para completar la distribución del

recurso hídrico al resto de la población de la ciudad, conformado por el Rodadero hasta el límite del sector Pachocolo, del cual se puede extraer un caudal de 450 L/s al 2014 (Superserintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2015), donde esta última nace en la sierra Nevada de Santa Marta, donde en los últimos años se ha observado un retroceso en la masa glaciar (Bolaño-Ortiz, 2020) posiblemente asociado al efecto del cambio climático global y/o por el efecto de la fase cálida del ENSO. El último efecto, así como el impacto de la Oscilación Cuasi bienal, son desconocidos hasta la fecha y en la presente investigación se pretende evaluar si estos eventos afectan el régimen hídrico de las cuencas abastecedoras de la ciudad. Esta investigación toma importancia porque la ciudad de Santa Marta se encuentra en un constante crecimiento, generando una mayor presión sobre la disponibilidad del agua en cuencas abastecedoras. Adicionalmente, el sistema de acueducto presenta problemas de conexiones ilegales que vulneran aún más la oferta hídrica (Boneth, 2020). El estudio del efecto del evento ENSO sobre el régimen hídrico de las tres cuencas es importante porque muestra la sensibilidad de su oferta hídrica ante estos fenómenos macro climáticos bajo el escenario del crecimiento de las demandas hídricas y permite generar recomendaciones sobre la gestión del sistema de abastecimiento de esta importante urbanización.

2. Materiales y métodos

Los datos utilizados para el presente estudio se dividen en las series hidro climatológicas de caudales medios mensuales y precipitaciones totales mensuales del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales (IDEAM, 2019), e índices macro climáticos de siglas MEI —que indica la aparición del fenómeno ENSO— (Physical Sciences Laboratory, 2021) y el del QBO —fenómeno Cuasibienal— (NOAA, 2021). La localización de las estaciones hidro climáticas se presenta en la Figura 1.

Figura 1. Mapa de localización de las cuencas abastecedoras de agua de la ciudad de Santa Marta con los respectivos puntos de bocatoma y estaciones hidro climatológicas.

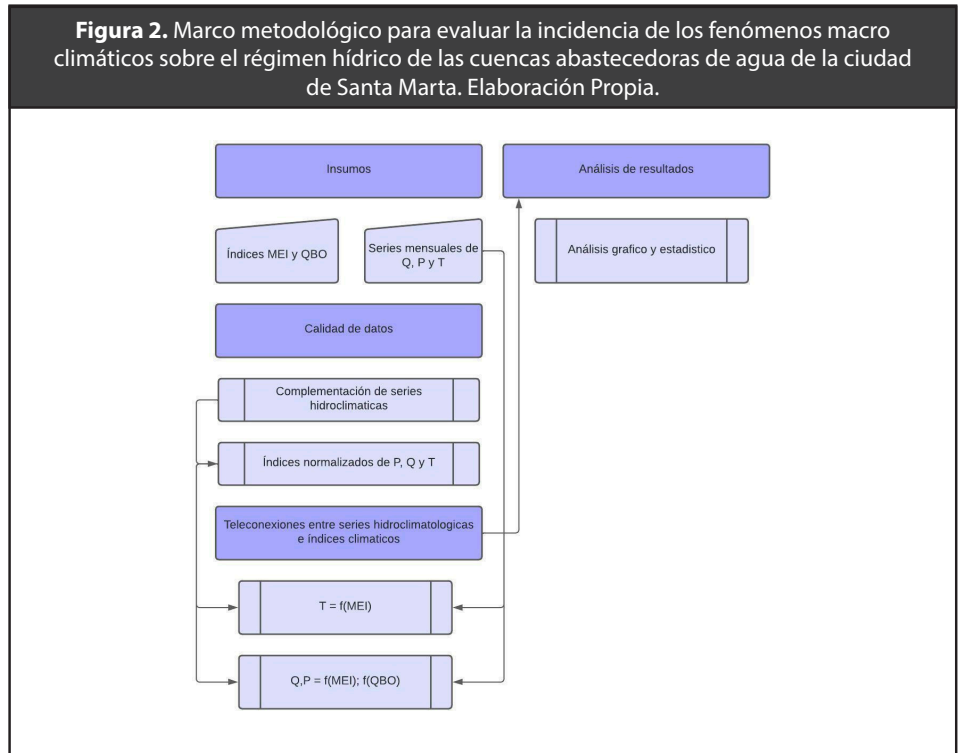


La información general de las estaciones presentadas en la Tabla 1, se encuentra a continuación:

Tabla 1. Información general de las estaciones hidrometeorológicas utilizadas en el estudio.

N	Código	Nombre	Tipo	Longitud de registro
1	15010010	Minca	Pluviométrica	1970 - 2018
2	15017060	Bocatoma Santa Marta	Limnigráfica	1970 - 2018
3	15017030	Minca	Limnigráfica	1970 - 2018
4	15015060	San Lorenzo	Climática Principal	1970 - 2018
5	15015050	Aeropuerto Simón Bolívar	Sinóptica Principal	1970 - 2018

La metodología desarrollada para estudiar la incidencia de los fenómenos macro climáticos de ENSO y Oscilación Cuasi bienal sobre el régimen hídrico se presenta de manera esquemática en la Figura 2.



Después de haber recolectado los datos hidro climáticos, la serie se revisa a la existencia de los valores espurios que pueden aparecer por diferentes causas, como por ejemplo, toma errónea de los datos, falta de calibración de los equipos, entre otros. Este análisis se hace a través del criterio de Grubb's (Jin, 2020).

Para construir teleconexiones entre los índices climáticos y los datos hidro climatológicos, es necesario que todas las series sean completas. Por este motivo, se procedió a complementar los registros faltantes mediante correlaciones lineales con los registros climáticos completos (Gonzalez, 2007).

El último paso de la primera etapa metodológica consiste en la obtención de los índices normalizados de las series de precipitaciones, caudales y el índice QBO que son necesarios para la construcción de teleconexiones entre las variables hidro climatológicas versus índices climáticos. Teniendo en cuenta que

el índice MEI es un índice bimensual normalizado, los índices normalizados se convirtieron en los bimensuales como valor promedio de los dos índices normalizados consecutivos.

La normalización mencionada anteriormente se presenta a continuación:

$$(x - \bar{x})/\sigma \quad (1)$$

Donde:

x: Valor mensual de la variable hidrometeorológica

\bar{x} : Valor medio mensual de la variable hidrometeorológica

σ : Desviación estándar de la serie mensual de la variable hidrometeorológica.

Al haber culminado este paso, finalmente, se pasa a la construcción de teleconexiones.

Inicialmente, se construyen los correlogramas entre las temperaturas medias anuales de la ciudad de Santa Marta y el índice MEI. Con esto se pretende demostrar si la fase fría —La Niña— del evento se refleja en una disminución de la temperatura media en la ciudad y si la fase cálida —El Niño— genera un aumento en la temperatura media. Los meses de desfase indicarán el tiempo que tarda el evento en verse reflejado en el régimen de temperaturas en la zona del estudio.

Posteriormente, se procede a la identificación de la incidencia del fenómeno QBO sobre las series de caudales medios y precipitaciones totales mensuales a través de correlogramas con el periodo de desfase de hasta 3 meses. La significancia estadística de las correlaciones construidas se demuestra a través del estadístico t (Fowler, 2017)

Las mismas correlaciones se realizan entre las series de precipitaciones totales mensuales y caudales medios mensuales con el índice MEI con el desfase de hasta 3 meses. Este análisis nos indicará si el régimen hidro climático se ve afectado por el fenómeno ENSO y en qué tiempo este fenómeno se logra manifestar sobre la zona del estudio. La significancia estadística de las teleconexiones

se verifica a través de la prueba t con el nivel de significancia de 0.05 (Gonzalez, 2007).

Finalmente, se procede a realizar el análisis de los resultados obtenidos para identificar si los fenómenos macro climáticos mencionados anteriormente tienen incidencia sobre las afluencias de las cuencas abastecedoras de la ciudad de Santa Marta.

3. Resultados:

Inicialmente, se procede a la recopilación de los registros hidrometereológicos presentados en la tabla 1 y de las series de los índices macro climáticos QBO y MEI.

En su parte, las series hidrometereológicas presentaban unos vacíos, y por este motivo se procedió a complementar los valores faltantes a través del análisis de correlación lineal con los registros de las estaciones que tengan registros completos.

Se realiza una correlación entre la serie de la estación $Q_{15017030}$ y $P_{15010010}$, con los cuales se construye la ecuación de la recta con una la incógnita del valor de precipitación de la estación $Q_{15017030}$, se repite el mismo proceso, relacionando las estaciones $Q_{15017060}$ y $Q_{15017030}$ y la relación entre $P_{15010010}$ y $Q_{15017030}$ con el fin de calcular los datos faltantes de las series de caudales.

Se encontraron las siguientes ecuaciones y sus respectivos valores del coeficiente de correlación:

Ecuación de correlación	Valor del coeficiente de correlación	
$Q_{15017030} = 0,00824 * P_{15010010} + 0,67100$	0,63	(2)
$Q_{15017060} = 0,5623 * Q_{15017030} + 0,5840$	0,63	(3)
$P_{15010010} = 51,077 * Q_{15017030} + 75,9509$	0,52	(4)

Donde:

$Q_{15017030}$: Datos de caudal de la estación 15017030

$Q_{15017060}$: Datos de caudal de la estación 15017060

$P_{15010010}$: Datos de precipitación de la estación 15010010

Vale la pena mencionar que todas las correlaciones construidas, confirmaron ser estadísticamente significativas, a través de la prueba de t de *Student*, con el nivel de significancia de 0.05. Posteriormente, se procedió a convertir las series complementadas de precipitaciones, temperaturas y caudales, en índices bimensuales que se usaron adelante para construir teleconexiones.

A través del siguiente paso de la metodología, se obtuvieron los análisis de teleconexiones entre las series de temperaturas versus el índice MEI y series de precipitaciones y caudales versus índices QBO y MEI. Los resultados de la primera correlación indican si la aparición de la fase cálida del ENSO —El Niño— se refleja en un aumento de las temperaturas registradas en la zona, y si la fase fría del ENSO —La Niña— incide sobre una disminución de temperaturas medias. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados del análisis correlativo entre temperaturas media versus ENSO. Elaboración Propia.

Código estación	Coefficiente de correlación	t _{crítico}	t _{empírico}	Significancia estadística
15015060	0,218	1,96	2,64	Relación estadísticamente significativa
15015050	0,478		10,93	Relación estadísticamente significativa

Según la Tabla 2, las dos estaciones medidoras de temperaturas confirman que existe una relación estadísticamente significativa entre el régimen de temperaturas medias y el fenómeno macro climático ENSO. Además, esta relación es directa, lo que indica que la fase cálida del fenómeno se refleja en un incremento de temperaturas medias y la fase fría en la disminución de estas. Los valores de coeficiente de correlación indican que en un 21,8 a 47,8%, la variación de temperaturas es afectada por la presencia del fenómeno ENSO.

Figura 3. Gráfica del índice de temperaturas versus MEI de la estación 15015060.
Elaboración Propia.

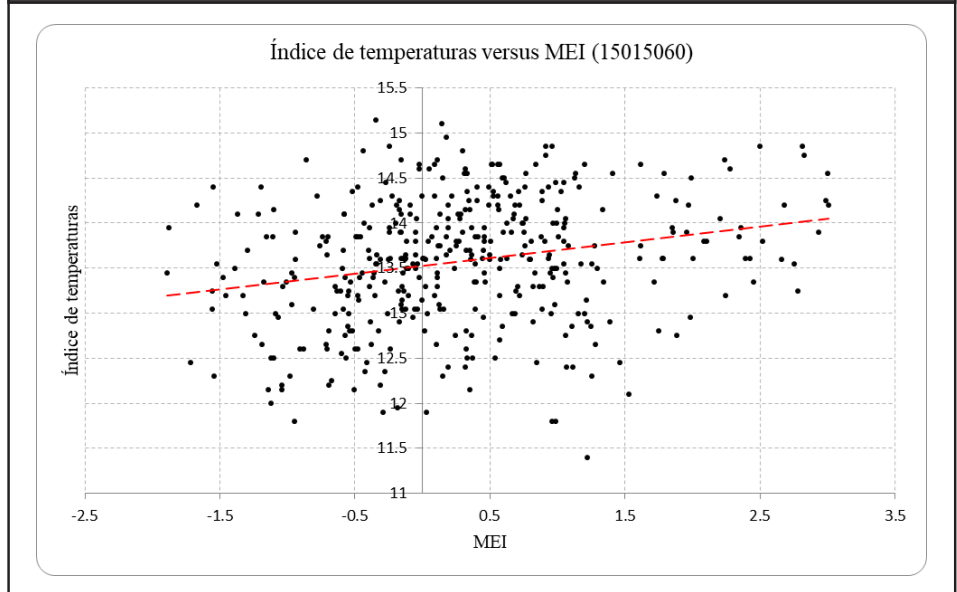
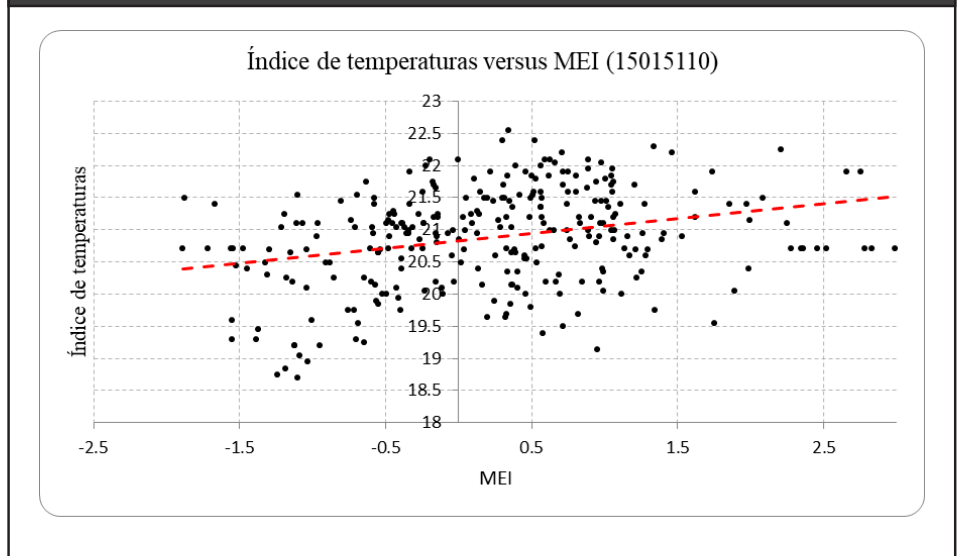


Figura 4. Gráfica del índice de temperaturas versus MEI de la estación 15015050.
Elaboración Propia.



El siguiente paso consiste en la construcción de teleconexiones entre las series hidro climatológicas y los datos de los índices MEI y QBO. Como se había mencionado en la parte metodológica, los valores de precipitaciones y temperaturas se normalizaron y se convirtieron en los índices bimensuales que permitió su correlación con los

índices macroclimáticos MEI y QBO. Los resultados de dicho análisis se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de teleconexiones entre las series hidrometeorológicas y los índices MEI y QBO. Elaboración Propia

15017030 – series de caudales			15017060 - series de caudales			15010010 - series de precipitaciones		
MEI	Desfase (meses)	Coefficiente de correlación	MEI	Desfase (meses)	Coefficiente de correlación	MEI	Desfase (meses)	Coefficiente de correlación
	0	0.17		0	0.33		0	0.23
	1	0.17		1	0.29		1	0.19
	2	0.17		2	0.25		2	0.16
	3	0.15		3	0.21		3	0.12
QBO	Desfase (meses)	Coefficiente de correlación	QBO	Desfase (meses)	Coefficiente de correlación	QBO	Desfase (meses)	Coefficiente de correlación
	0	0.06		0	0.02		0	0.01
	1	0.07		1	0.02		1	0.00
	2	0.08		2	0.04		2	0.02
	3	0.08		3	0.05		3	0.05

De los datos presentados anteriormente se observa que en la estación 15017030 —río Gaira— confirma que el régimen hídrico se encuentra influenciado por el fenómeno ENSO en un 17% y este fenómeno se manifiesta el mismo mes de su aparición en el océano Pacífico. Esto se da por la cercanía geográfica entre la zona del estudio y el lugar de nacimiento de este evento macroclimático. En la Figura 5 se presenta la representación gráfica de dichas correlaciones, donde se puede evidenciar que a los valores positivos del índice MEI —fase El Niño— corresponden mayores valores de caudales. Aunque en la mayor parte del territorio nacional la manifestación de la fase de El Niño produce una disminución de

pluviosidad y, como consecuencia, la disminución de la oferta hídrica superficial, el comportamiento hídrico de la cuenca del río Gaira es distinto y se explica por la intervención del nevado de Sierra Nevada de Santa Marta, donde nace el río en mención. La aparición de la fase cálida del fenómeno ENSO incide, como se había mostrado anteriormente, sobre el régimen de temperaturas medias, generando su incremento. El último, en su parte, produce el derretimiento del nevado, produciendo, de esa manera, el incremento en la oferta hídrica superficial. Los resultados de teleconexiones del fenómeno QBO sobre el régimen hídrico no logró evidenciar una correlación estadísticamente significativa, así, como se presenta en la Tabla 3.

Los resultados de teleconexiones entre los caudales de la estación 15017060, en el río Manzanares, indican la aparición del ENSO se refleja el mismo mes sobre el régimen hídrico y la afectación de su régimen por este fenómeno climático depende en un 33%. La fase fría del fenómeno produce un crecimiento de la oferta hídrica superficial y la fase cálida un decrecimiento de la escurrentía superficial. Estos resultados concuerdan con el patrón nacional de respuesta hídrica a este evento macro climático. Con relación a la incidencia de la Oscilación Cuasibienal sobre la disponibilidad hídrica de la cuenca del río Manzanares, no se logró evidenciar una teleconexión estadísticamente significativa.

La cuenca del río Piedra no dispone de las estaciones hidrológicas. Por este motivo, las teleconexiones se construyeron con base en las series de precipitaciones de la estación climática identificada con el código 1510010 que se localiza en la cuenca en mención. Los resultados de correlaciones con el fenómeno ENSO indican que el régimen pluviométrico depende en un 23,2% de este evento con el rezago temporal del mismo mes, así, como en las cuencas vecinas de los ríos Gaira y Manzanares. El signo de correlación es inverso, lo que indica que la fase fría del fenómeno (valores negativos del índice MEI) produce un incremento en la pluviosidad. Este resultado es similar al de la cuenca del río Manzanares. También se confirmó que el régimen pluviométrico no depende de la manifestación del fenómeno de Oscilación Cuasibienal.

La significancia estadística de las teleconexiones se corroboró con la prueba t *Student* con el nivel de significancia de 0.05. Los

resultados de dicho análisis confirmaron que todas las teleconexiones entre las variables hidrometeorológicas y el fenómeno ENSO son estadísticamente significativas, mientras que ninguna correlación con el fenómeno de Oscilación Cuasibienal demostró ser estadísticamente válida. La representación gráfica de las teleconexiones se presentan en las Figuras 5, 6 y 7.

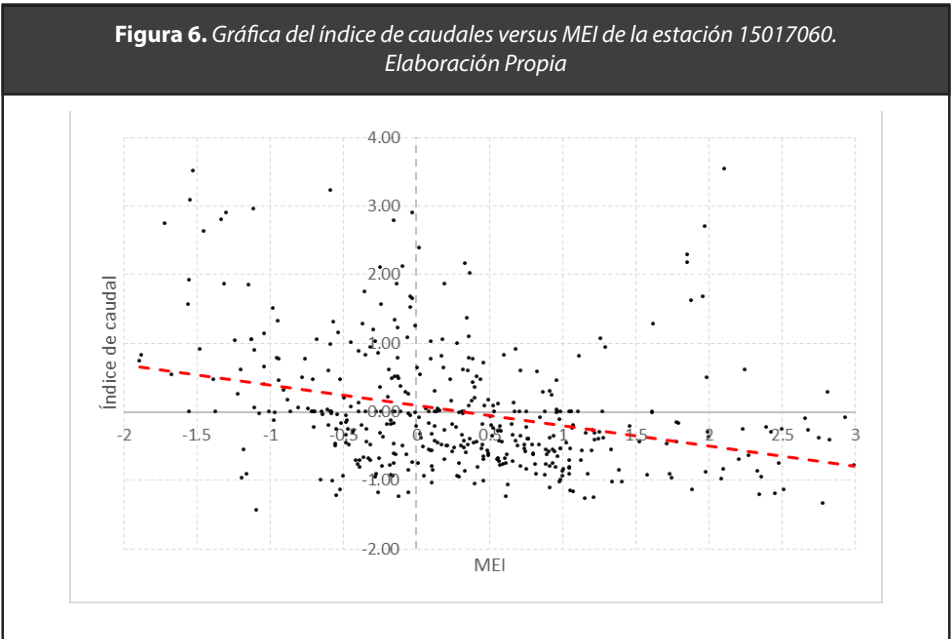
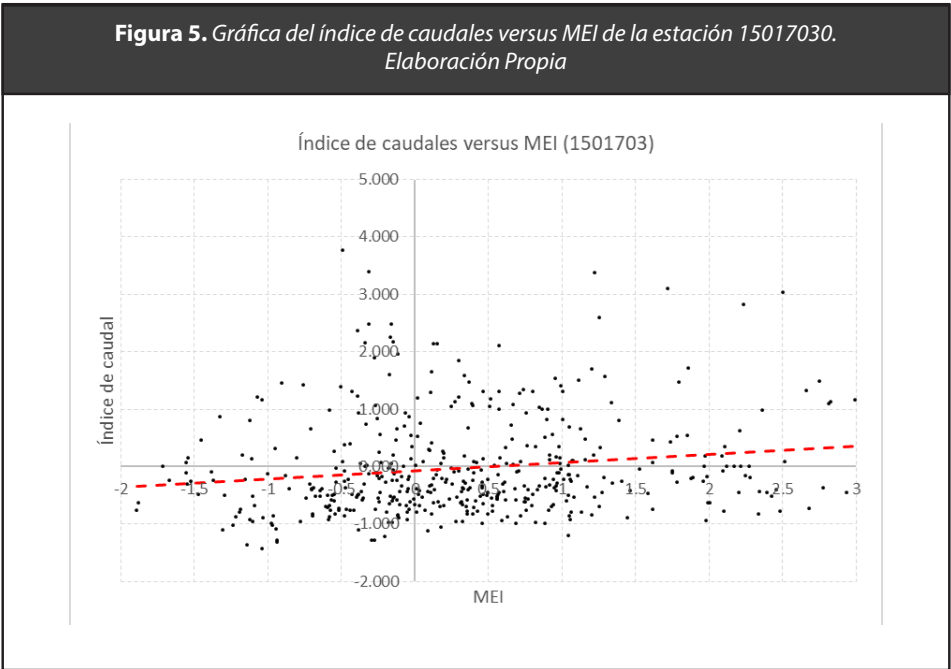
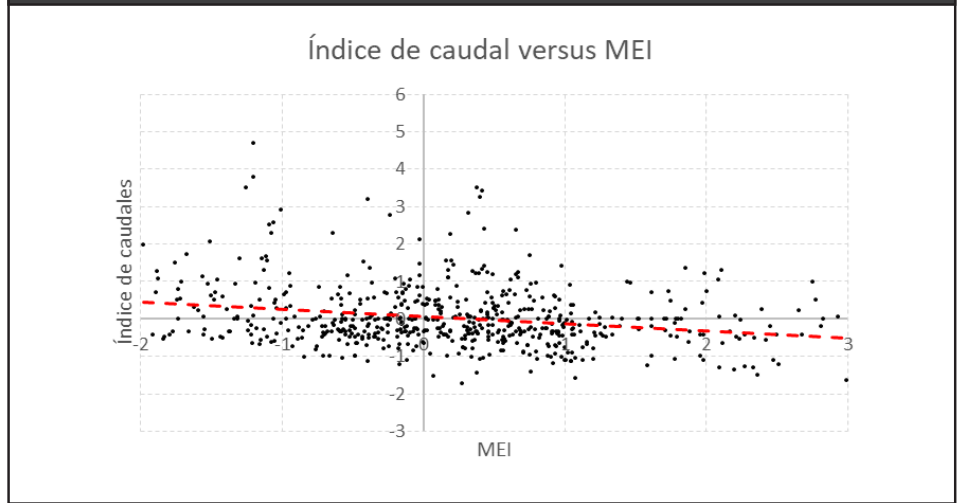


Figura 7. Gráfica del índice de precipitaciones versus MEI de la estación 15010010. *Elaboración Propia.*



En las figuras 5 y 6, se observa que el fenómeno ENSO en su fase negativa, La Niña, afecta las precipitaciones y caudales reportadas, ya que cuando la temperatura disminuye, el caudal o las precipitaciones aumentan. Sucede lo contrario en la fase positiva del ENSO, El Niño, donde se observa que la fase positiva produce una reducción de la oferta hídrica superficial.

En la figura 7, correspondiente a la cuenca del río Gaira, muestra un comportamiento diferente, ya que la correlación entre el índice MEI y las series de caudales es inverso. Aquí, la fase positiva del fenómeno (valores positivos del índice MEI) se refleja en un crecimiento de la disponibilidad hídrica y a la fase fría, una disminución de la oferta del agua. Para explicar este fenómeno, se verificó la localización de las estaciones, donde se encontró que la estación 15017030 se localiza en la cuenca del río Gaira que toma su inicio en la Sierra Nevada de Santa Marta. El incremento de la temperatura del aire en la fase positiva del evento produce un derretimiento de la capa de nieve, produciendo un incremento en la oferta hídrica superficial (Yves Lejeune, 2007).

4. Discusión:

En el contexto nacional existen varios estudios sobre los efectos de los diferentes eventos macroclimáticos sobre variables hidrometeorológicas y se ha demostrado que, en parte, su alta variabilidad temporal se explica por estos fenómenos. No obstante, no existen orientaciones y/o lineamientos sobre cómo el efecto de los eventos macroclimáticos debe ser tenido en cuenta en el diseño y dimensionamiento de las obras de infraestructura relacionadas con el manejo del recurso hídrico, garantizando la sostenibilidad del sector hidroenergético y servicio continuo de abastecimiento hídrico. El ejemplo de este es la ciudad de Santa Marta, donde las fuentes de abastecimiento hídrico demostraron ser sensibles al fenómeno ENSO y donde la ciudad ya ha experimentado cortes del agua por falta de esta. En el escenario del crecimiento poblacional de la ciudad este tema toma una importancia significativa que, muy seguramente, exigirá a mediano plazo tomar acciones de un ajuste de infraestructura del sistema de abastecimiento.

Otro elemento importante para tener en cuenta son las faltas en el sistema de monitoreo hidrológico, donde no todas las fuentes hídricas abastecedoras en el país disponen de estaciones hidrológicas y su falta influye al dimensionamiento y operación de los sistemas de acueducto, haciéndolo vulnerable a diferentes fenómenos climáticos extremos. Devolviéndonos al caso del estudio, la cuenca del río Piedras no dispone de una estación hidrológica para realizar un seguimiento al régimen hídrico. Y, aunque la instalación y la operación de una estación hidrológica representa un costo adicional para el acueducto, seguramente se podrá compensar a mediano plazo haciendo una adecuada gestión del sistema de monitoreo hidrológico y la operación del acueducto.

El estudio realizado puede servir de insumo para estudiar la suficiencia del sistema del acueducto de la ciudad de Santa Marta, considerando que la variabilidad hidrológica de sus cuencas abastecedoras es sensible al fenómeno ENSO y la creciente demanda hídrica de la ciudad en conjunto pueden generar problemas de desabastecimiento de la ciudad a mediano plazo.

La localización geográfica de la ciudad de Santa Marta hace que las diferentes anomalías climáticas originados en el océano Pacífico tengan un periodo de rezago corto sobre el régimen de las variables hidro-climatológicas, generando una respuesta cercana a un mes. Esto hace que los entes que gestionen el recurso hídrico en las zonas costeras deben conocer el impacto que pueden llegar a producir los fenómenos climáticos y disminuir la vulnerabilidad de las infraestructuras destinadas al manejo del recurso hídrico.

5. Conclusiones

De los resultados mencionados anteriormente se pueden plantear diferentes conclusiones con relación a la influencia de los fenómenos macro climáticos ENSO y Oscilación Cuasibienal sobre el régimen hídrico de las cuencas abastecedoras de la ciudad de Santa Marta:

El análisis de teleconexión entre el fenómeno Cuasibienal y los caudales medios de las cuencas abastecedoras de la ciudad de Santa Marta indica que este evento macro climático no tiene una influencia estadísticamente significativa sobre el régimen hídrico en la zona.

El fenómeno ENSO genera un impacto estadísticamente significativo sobre el régimen hídrico de los ríos abastecedores de la ciudad de Santa Marta y al momento de presentarse en el Pacífico, se ve reflejado en el régimen hídrico el mismo mes.

Durante la fase cálida del ENSO, conocida como El Niño, se observó un aumento en el caudal en la estación 15017030 ubicada en el río Gaira, debido al derretimiento de la masa de nieve de la Sierra Nevada de Santa Marta. El régimen hídrico mensual del río Gaira depende en un 17% del evento ENSO.

El río Manzanares también muestra una conexión con el fenómeno ENSO, confirmando que el régimen hídrico depende en un 33% del evento. La fase fría del fenómeno se refleja en un incremento de la oferta hídrica y la fase cálida en una disminución de la escorrentía superficial.

El patrón de respuesta del régimen pluviométrica de la cuenca del río Piedra es similar al de la cuenca del río Manzanares, donde

la fase fría del ENSO se refleja en un incremento de la oferta hídrica y la fase cálida en una disminución de esta. Se supone que la respuesta del régimen hídrico al evento ENSO sería similar al del régimen pluviométrico, pero la cuenca no dispone de las estaciones hidrológicas para confirmar dicha afirmación. El régimen mensual de precipitaciones depende en un 22% del evento ENSO.

6. Agradecimientos:

Agradecemos a nuestras familias por el apoyo obtenido y a la Universidad Militar Nueva Granada (UMNG) por facilitar esta investigación.

7. Referencias

- Abhik, S.H.; Hope, P.; Hendon, H.H.; Hutley, L.B.; Johnson, S.; Drosowsky, W.; Brown, J.R.; Duke, N.C. (2021) Influence of the 2015–2016 El Niño on the record-breaking mangrove dieback along northern Australia coast. *Scientific Reports*, 11. <https://dx.doi.org/10.1038/s41598-021-99313-w>
- Alarcón, N.G.; Cerrato, I. (2020). *¿Ya tenemos suficientes apps?* BID. <https://blogs.iadb.org/conocimiento-abierto/es/ya-tenemos-suficientes-apps/> (La referencia no hace parte del texto)
- ANAME (2023). *Equipos de Medición de Fuerza y Torsión: Torquímetros y Dinamómetros*. Sistemas de Medida Fricción: <https://www.medidafuerzaytorsion.com/index.php/es/equipos-de-medicion/category/52-medida-de-friccion?jij=1688443361957>
- Bal, P. K.; Dasari, H.P.; Prasad, N.; Salunke, P.; Parihar, R.S. (2021). Variations of Energy Fluxes with ENSO, IOD and ISV of Indian Summer Monsoon Rainfall over the Indian Monsoon Region. *Atmospheric Research*, 258. <https://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105645>
- Barrios-Perez, C.; Okada, K.; Varón, G.G.; Ramirez-Villegas, J.; Rebolledo, M.C.; Prager, S.D. (2021). How does El Niño Southern Oscillation affect rice-producing environments in central Colombia? *Agricultural and Forest Meteorology*, 306.
- Berniell, L.; de la Mata, D. (2021). *Covid-19 y desigualdad: ¿Se agrandarán las brechas sociales en América Latina y el Caribe?*. CAF. <https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2021/12/covid19-y-desigualdad-se-agrandaran-las-brechas-sociales-en-america-latina-y-el-caribe/>
- Bolaño-Ortiz, T. R.; Díaz-Gutiérrez, V.L.; Camargo-Caicedo, Y. (2020). ENSO and light-absorbing impurities and their impact on snow albedo in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Geosciences*, 21. <https://dx.doi.org/10.3390/geosciences10110437>

- Boneth, S. D. (02 de 06 de 2020). Hallan más de 100 conexiones fraudulentas en acueducto de Santa Marta. *EL HERALDO*.
- Das, K.M.; Mukherjee, A.; Malakar, P.; Das, D.; Dey, U. (2021). Impact of global-scale hydroclimatic patterns on surface water-groundwater interactions in the climatically vulnerable Ganges river delta of the Sundarbans. *Science of The Total Environment*, 10. <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149198>
- Dey, A.; Chattopadhyay, R.; Joseph, S,M Kaur, M.; Mandal, R.; Phani, R.; Sahai, K.; Pattanaik, D.R. (2022). The intraseasonal fluctuation of Indian summer monsoon rainfall and its relation with monsoon intraseasonal oscillation (MISO) and Madden Julian oscillation (MJO). *Theoretical and Applied Climatology*, 13. <https://dx.doi.org/10.1007/s00704-022-03970-4>
- Fowler, A.M.; Bridge, M.C. (2017). Empirically-determined statistical significance of the Baillie and Pilcher (1973) t statistic for British Isles oak. *Dendrochronologia*, 42. <https://dx.doi.org/10.1016/j.dendro.2016.12.006>
- Gonzalez, A.R. (2007). *Manual de estadísticas aplicado a las ciencias de la educación*. Bogota: Javegraf.
- Habtegebreal, A.K.; Alemu, A.B.; Raju, U.J.P. (2021) Examining the Role of Quasi-biennial Oscillation on Rainfall patterns over Upper Blue Nile Basin of Ethiopia. *Environmental Science*, 14.
- Henaó, F.; Viteri, J.P.; Rodríguez, Y.; Gómez, J.; Dynér, I. (2020) Annual and interannual complementarities of renewable energy sources in Colombia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134. <https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2020.110318>
- Ibrahim, I.; Usman, M.T. (2021). Teleconnection of spatial variations of effective onset of rainfall and ENSO\IOD over savanna zones of Nigeria. *Theor Appl Climatol*, 185. <https://dx.doi.org/10.1007/s00704-021-03619-8>
- Jin, M.; Deng, F.; Liu, C.; Yu, Q.; Zhao, J.; & Wang, Q. (2020). Statistical Multi-Faults Localization Strategy of Switch Open-Circuit Fault for Modular Multilevel Converters Using Grubbs Criterion. *IECON Proceedings*, 15. <https://dx.doi.org/10.1109/IECON43393.2020.9254519>
- Lejeune, Y.; Wagnon, P.; Bouilloud, L.; Chevallier, P.; Etchevers, P.; Martin, E.; Sicart, J.E.; Habets, F. (2007). Melting of Snow Cover in a Tropical Mountain Environment in Bolivia: Processes and Modeling. *JOURNAL OF HYDROMETEOROLOGY*, pág. 937. <https://dx.doi.org/10.1175/JHM590.1>
- Ncoyini, Z.; Savage, M.J.; Strydom, S. (2022). Limited access and use of climate information by small-scale sugarcane farmers in South Africa: A case study. *Climate Services*, 11. <https://dx.doi.org/10.1016/j.cliser.2022.100285>
- Puspasari, R.; Rahmawati P.F.; Prianto, E. (2021). The Effect of ENSO (El Nino Southern Oscillation) phenomenon on Fishing Season of Small Pelagic Fishes in Indonesia Waters. *Earth Environ*, 11. <https://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/934/1/012018>
- Quesada-Román, A.; Ballesteros-Cánovas, J.A.; Guillet, S.; Madrigal-González, j.; Stoffel, M. (2020). Neotropical *Hypericum irazuense* shrubs reveal recent ENSO variability in Costa Rican páramo. *Dendrochronologia*, 10. <https://dx.doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125704>

- Superserintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2015). *Evaluación integral de prestadores compañía de acueducto y alcantarillado metropolitano de Santa Marta S.A. E.S.P.* Bogota: Superintendencia delegada para acueducto, alcantarillado y aseo.
- Veiga, S. F. (2022). The response of the East Asian summer rainfall to more extreme El Niño events in future climate scenarios. *Atmospheric Research*, 268.
- Wang, Y.; Wang, S.; Zhao, W.; Liu, Y. (2022). The increasing contribution of potential evapotranspiration to severe droughts in the Yellow River basin. *Journal of Hydrology*, 14. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127310>
- Yi, Y.; Liu, S.; Zhu, Y.; Wu, K.; Xie, F.; Saifullah, M. (2021). Spatiotemporal heterogeneity of snow cover in the central and western Karakoram Mountains based on a refined MODIS product during 2002–2018. *Atmospheric Research*, 250. <https://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105402>