

**Factores que ocasionaron la disminución del caudal del río Santa (Ancash, Perú),
periodo 1956-2010**

**Factors that caused the decrease in the flow of the Santa river (Ancash, Perú), period
1956-2010**

Confesor Saavedra Quezada

Universidad San Pedro, Perú

<https://orcid.org/0000-0001-6105-0843>

consaavedra@hotmail.com

María Delfina Pérez Campomanes

Universidad San Pedro, Perú

<https://orcid.org/0000-0003-4087-3933>

Maritza Ruth Rodríguez Briceño

Universidad San Pedro, Perú

Información del artículo

Recibido 31 octubre 2019

Recibido revisado 30 noviembre 2019

Aceptado 15 diciembre 2019

Disponible online 20 julio 2020

Palabras clave

Río Santa
Caudal
Desglaciación
Serie de tiempo
Método Box – Jenkins
Modelo Arima

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo identificar los factores que ocasionaron la disminución del caudal del río Santa durante el periodo 1956-2010. Se abordó como estudio documental y de campo, de alcance explicativo, con diseño longitudinal correlacional-causal. Y se trabajó con los datos proporcionados por la estación hidrológica de Condorcerro (Ancash, Perú) e información recogida en visitas periódicas a la cuenca alta. Para el análisis de datos, se llevó a cabo un análisis de series de tiempo en base a la metodología de Box y Jenkins (modelo Arima). Como conclusiones, se encontró que la disminución del caudal en el río Santa se atribuye a la desglaciación acelerada; y que la media en época de avenidas es de 200 m³/s, y en época de estiaje de 56,32 m³/s.

Keywords

Santa River
Flow
Deglaciation
Time series
Box - Jenkins method
Arima model

Abstract

This study aimed to identify the factors that caused the decrease in the flow of the Santa River during the period 1956-2010. It was approached as a documentary and field study, with an explanatory scope, with a correlational-causal longitudinal design. And we worked with the data provided by the Condorcerro hydrological station (Ancash, Peru) and information collected from periodic visits to the upper basin. For data analysis, a time series analysis was carried out based on the Box and Jenkins methodology (Arima model). As conclusions, it was found that the decrease in flow in the Santa River is attributed to accelerated deglaciation; and that the average in the flood season is 200 m³ / s, and in the dry season, 56.32 m³/s.

DOI:

© 2019 Instituto Magister de Estudios para el Desarrollo, Magister SAC.

Introducción

Políticamente, la cuenca del río Santa se localiza parcialmente en los departamentos de Ancash y La Libertad, en el norte del Perú (SEDALIB, 2018). Esto favorece en gran medida la actividad agrícola que corresponde a los dos grandes proyectos especiales de esta zona: Chincas y Chavimochic, que suponen la irrigación de aproximadamente 47 mil hectáreas.

El río Santa se origina en la laguna Conococha, la cual se alimenta de la Laguna Aguascocha; cruza las provincias de Bolognesi, Recuay, Huaraz, Carhuaz, Yungay, Huaylas, Corongo, Pallasca y Santa, en Ancash; y Santiago de Chuco y Huamachuco en La Libertad. Cubre una superficie colectora de 14 954 km², con un rendimiento medio anual de 44 589 m³/km² y una descarga media anual de 143 m³/s (con un caudal máximo de 1500 m³/s entre los meses de enero y mayo, y un mínimo de 25 m³/s entre julio y setiembre), lo que lo distingue como uno de los ríos más regulares de la costa peruana. Se encuentran dos áreas de precipitación en la cuenca: la zona seca o baja (0 - 1800 msnm), con menos de 250 mm/año, y la zona húmeda o alta (1800 - 4200 msnm), con 250 a 1200 mm/año (Álvarez y Amancio, 2014). Según la Mancomunidad municipal del valle fortaleza y del Santa (2017), la cuenca del río Santa presenta un período definido de aguas altas entre enero y abril, un período bajo entre julio y setiembre, y período de transición en los meses restantes. De la distribución anual de caudales, se observa una fluctuación menor de los caudales, debido al efecto regulador de las lagunas existentes aguas arriba.

Sin embargo, aun con esta regularidad, a lo largo de los años el caudal del río ha venido disminuyendo sustancialmente, lo que llevado a ensayar diferentes explicaciones al respecto, algunas con mayor arraigo que otras en el ámbito académico y de la investigación. Las posturas más importantes que se han desarrollado para explicar este fenómeno se sintetizan en las siguientes: explicaciones de índole migratoria; explicaciones en función de la contaminación; y explicaciones en función del cambio climático.

Las explicaciones basadas en los fenómenos migratorios señalan que las frecuentes y crecientes migraciones del campo a la ciudad, experimentadas en el país desde mediados del siglo XX (Arellano, 2010), y antes, han terminado por reducir el cauce de los ríos, en especial, los que tienen un comportamiento estacional, en un proceso continuo de ganar el espacio aledaño para diferentes efectos, incluso para habitación, aunque su principal orientación ha sido la agricultura. Si bien esta es una línea de explicación bastante plausible, que se ha abordado en diferentes espacios internacionales, en el caso del río Santa no se ha tomado mayormente en cuenta. Los estudios migratorios se han enfocado más en la aculturación del migrante (, en el crecimiento poblacional, en la modernización de las ciudades (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2011), antes que en el uso de los recursos hídricos de la región.

Por otro lado, cabe destacar que, aunque las explicaciones que se fundamentan en la contaminación como factor que disminuye con el tiempo el caudal de un río (Escobar, 2002), en realidad, constituyen la contraparte de las tesis que se sustentan en los fenómenos migratorios. En ese sentido, la evidencia sugiere que el crecimiento de la población de las ciudades, en especial de las ciudades de la costa peruana, ha sido mayor que la tasa de crecimiento vegetativo. Sin embargo, en lo que respecta al río Santa no existe mayor evidencia empírica que apoye esta tesis, a excepción de Villanueva (2011), que sostiene que las diversas actividades humanas que se desarrollan en la cuenca del río Santa son, en mayor o menor grado, responsables de la alteración de las condiciones naturales de los ecosistemas; o de algunos puntos de vista desarrollados en el marco de otros propósitos (cf. Romero et al., 2010).

Una tercera línea de explicación, quizá la más importante en lo que concierne al río Santa, acusa la deglaciación de cordilleras como causal de la disminución del caudal del río (Medina y García, 2014; Valer, 2009). Medina y Mejía (2014) encontraron que el volumen glaciar en la cordillera Parón tuvo un comportamiento variable en el tiempo, con una reducción promedio del 18% durante el periodo 1987 – 2011. Quiroz (2013), por su parte, señala que las superficies de los glaciares de las montañas Chollquepucro y Pariaqaqa indican que éstos se han retirado 18.14 km² desde la prehistoria hasta el año 2010, lo que significa una tasa de deglaciación de 1.259 m² /año. Por su parte, Zapata (2008) señala que, en el marco de los estudios que viene efectuando el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) la reducción de área en el nevado de Pastoruri en el periodo comprendido entre 1995 y 2007 (12 años) muestra una cifra alarmante de un 37.08 %.

Como trasfondo de esta posición, se identifica el cambio climático como factor subyacente a la deglaciación. Al respecto, se debe señalar que los glaciares andinos son de gran interés para los científicos, dado que constituyen indicadores importantes del cambio climático (Francou, Rabatel, Soruco et al., 2013). En ese sentido, los glaciares son imprescindibles en el manejo del recurso hídrico, ya que actúan como reguladores del régimen hidrológico en casi toda la región andina, y pueden ser causantes directos o indirectos, de catástrofes (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2007).

El reconocimiento de este aspecto corre de manera paralela al reconocimiento de la importancia de la gestión del agua, que tiene que enmarcarse en el propósito de afrontar el cambio climático (Portocarrero et al, 2008). En ese sentido, si bien se ha avanzado en la mejora de la oferta, buscando una mayor provisión de agua mediante la construcción de reservorios de almacenamiento, presas, canales de conducción, sin embargo, todavía no se ha considerado con convicción la gestión de la demanda, en tanto la gestión de la oferta comprende todos los procesos de abastecimiento de agua, considerando captación, aducción, conducción y formas de distribución.

Considerando lo expuesto, en este estudio se plantea identificar los factores que ocasionaron la disminución del caudal del río Santa durante el periodo 1956-2010, e identificar las variaciones de las descargas del caudal de agua de río en épocas de estiajes y avenidas.

Método

Tipificación del estudio

Estudio mixto, documental (Mogalakwe, 2009) y de campo que, según el alcance de sus resultados (Hernández, Fernández y Baptista, 2014), se identifica como investigación explicativa. En cuanto a diseño, se trata de un estudio no experimental, longitudinal con diseño correlacional-causal (Hernández et al., 2014).

Ámbito social del estudio

El área que comprende el estudio se ubica en la provincia de Yungay (región Ancash, Perú); abarca una extensión total de 1361.48 km², que equivale al 8.49% de la extensión superficial de la región Ancash. Este territorio forma parte de las tres cuencas de la región Ancash: el valle del Santa, la cuenca del Pacífico y la cuenca del Marañón. Para el caso, se considera la evaluación de los datos proporcionados por la estación hidrológica de Condorcerro.

Trabajo de campo

Para la obtención de los datos se realizaron visitas periódicas a la cuenca alta: Callejón de Huaylas, Caraz (Laguna de Parón), Yungay, Huallanca (Hidroeléctrica Cañón del Pato), Cabana y Chuquicara, con la finalidad de analizar las condiciones fisiográficas de las

diferentes zonas, y recoger información de los actores sociales directos, respecto de los factores que, según su criterio, habrían influido en la disminución del caudal del río Santa durante el periodo de estudio.

Gracias a la visita a la estación hidrológica de Condorcerro, se pudo acceder al registro de descargas del río Santa durante todo el año. También se participó en eventos realizados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) a través de la Autoridad Administrativa del agua (AAA), para cotejar la data informativa de las descargas del agua del río Santa.

Análisis de datos

Para esta investigación, se aplicó un análisis de series de tiempo (aplicado a descargas medias mensuales del río Santa, medida en m³/s), con el objeto de encontrar un modelo de predicción utilizando la metodología de los modelos de Box y Jenkins (Jiménez, Gázquez y Sánchez, 2006). Se tomó como base la información del periodo 1956 – 2010. Y se determinó como más apropiado para las descargas mensuales el modelo Arima (*p,d,q*), considerando una serie homogénea y estacionaria (Valdés, Castro, Torres y González, 2009).

Resultados

Factores identificados por los actores sociales

Una vez efectuados los registros y el análisis correspondiente, los factores identificados por los actores sociales como causales de la disminución del agua del río Santa durante el periodo 1956 – 2010, y la síntesis de las razones que exponen al respecto, se presentan a continuación (Tabla 1):

Tabla 1. Factores que ocasionaron la disminución del caudal de Río Santa

Factor	Descripción
1. Desglaciación acelerada	Debido al calentamiento global se está disminuyendo considerablemente la masa glaciaria y como consecuencia, en los meses de estiaje, si bien es cierto que se tiene un volumen de agua por desglaciación; sin embargo, en el futuro este proceso se volverá irreversible, lo que implica una disminución del volumen por debajo del requerimiento.
2. Calentamiento global	Por el efecto invernadero, se están modificando las condiciones climatológicas en los diferentes estratos de la cuenca, con presencia de sequías y lluvias inusuales en periodos no determinados.
3. Falta de forestación en cuenca Alta	No existe una política de estado para reforestar la cuenca alta, lo que se traduce en la ausencia de un colchón orgánico que permita infiltrar las aguas de lluvias; estas se pierden por escorrentía, lo que incrementa la erosión de los suelos y determina una baja de caudal en la época de estiaje.
4. Falta de reservorios en cuenca Alta	No existen reservorios en la cuenca alta que permitan el almacenamiento del agua excedente de las lluvias en la época de avenidas (diciembre a abril de cada año). Por ello, el agua discurre hacia el mar, sin que se puedan utilizar durante la época de estiaje. En ese sentido, sólo la laguna de Parón proporciona aproximadamente 10 m ³ /s para equilibrar el balance hídrico en la época de estiaje.

Descargas del río Santa

En las tablas 2 y 3, se presenta información respecto de los periodos de avenidas (noviembre – mayo) y estiaje (junio – octubre) y los caudales que corresponden al río Santa.

120 m³/s, que corresponde al máximo desarrollo de los proyectos especiales de Chincas y Chavimochic). La figura 1 muestra estos promedios.

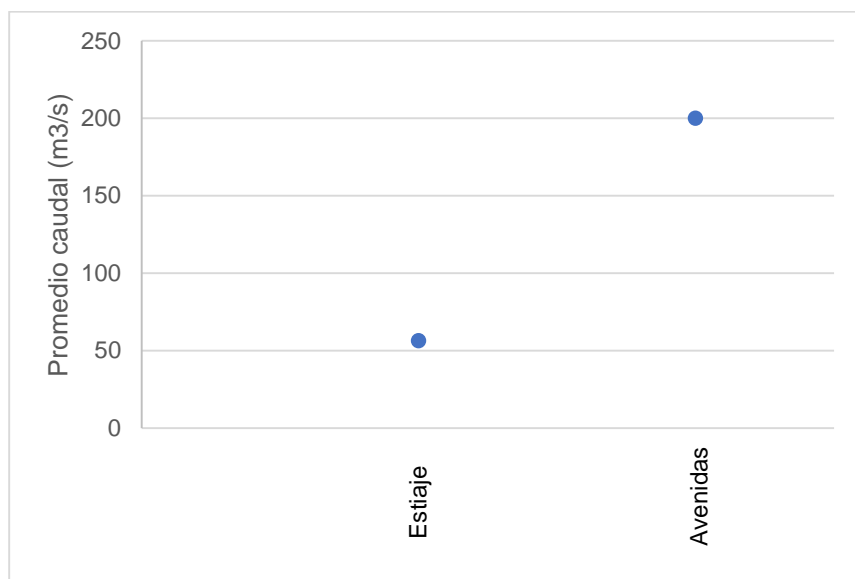


Figura 1. Promedio de descarga del río Santa (en m³ /s)

Las figuras 2 y 3 muestran la notoria variación del caudal entre el primer día de noviembre (que se puede considerar como final de octubre) y un día avanzado de noviembre. Las fotografías corresponden al año 2018.



Figura 3. Caudal de agua en río santa el día 01 de noviembre del 2018



Figura 4. Vista fotográfica en Cañón del Pato del 20 noviembre del 2018

Caudales máximos y mínimos del río Santa

Tabla 4. Caudales del río Santa, enero 1956 – diciembre 2010. Estadísticos descriptivos

Estadístico	Descarga
Media	140.144 m ³ /s
Máximo	811.19 m ³ /s
Mínimo	29.25 m ³ /s
Desviación Estándar	119.141 m ³ /s
N	660

En la tabla 4, se presentan los estadísticos descriptivos respecto de los caudales del río Santa. El comportamiento promedio es de 140.144 m³/s, con una desviación estándar de 119.141. Por otro lado, considerando el periodo analizado, el caudal máximo identificado fue 811.19 m³/s. En contraste, el caudal mínimo registrado fue 29.25 m³/s.

Modelo para el caudal del río Santa

El análisis del comportamiento de la serie se hizo mediante la metodología de Box – Jenkins, en función del modelo Arima (2, 0, 12). Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 5. Ajuste del modelo Arima (2, 0, 12) para caudal del río Santa, periodo 1956 – 2010

Estadístico de ajuste	Media	Mínimo	Máximo	Percentil						
				5	10	25	50	75	90	95
R ² estacionaria	.775	.775	.775	.775	.775	.775	.775	.775	.775	.775
R ²	.581	.581	.581	.581	.581	.581	.581	.581	.581	.581
RMSE	77.428	77.428	77.428	77.428	77.428	77.428	77.428	77.428	77.428	77.428
MAPE	29.444	29.444	29.444	29.444	29.444	29.444	29.444	29.444	29.444	29.444
MaxAPE	224.073	224.073	224.073	224.073	224.073	224.073	224.073	224.073	224.073	224.073
MAE	43.981	43.981	43.981	43.981	43.981	43.981	43.981	43.981	43.981	43.981
MaxAE	610.877	610.877	610.877	610.877	610.877	610.877	610.877	610.877	610.877	610.877
BIC normalizado	8.758	8.758	8.758	8.758	8.758	8.758	8.758	8.758	8.758	8.758

Tabla 6. Estadísticos del modelo Arima (2, 0, 12)

Modelo	Número de predictores	Estadísticos de ajuste del modelo R ² estacionaria	Ljung-Box Q(18)			Número de valores atípicos
			Estadísticos	GL	Sig.	
DESCARGA-Modelo_1	0	.775	122.685	13	.000	0

El análisis se inició con la observación del gráfico lineal, a fin de detectar la presencia de tendencia. Confirmada ésta, se analizó la información, y se encontró que el modelo que mejor se ajusta a las observaciones, modelo Arima de Box y Jenkins, proporciona un R^2 importante ($R^2=0.581$), pero más importante aún un R^2 estacionario considerable, de 0.775, que supone una capacidad predictiva bastante alta.

Por otro lado, se observaron pocos cambios notables en el tiempo, como en el periodo marzo – abril de 1972 (Figura 4), donde se evidencia un aumento abrupto de los caudales máximos del río Santa, que se estabilizan alrededor de 12 años. Posteriormente, se registran alzas y caídas dentro de un rango. Otros periodos en los cuales se experimentó incrementos abruptos de caudal, fueron febrero – marzo de 1984, marzo – abril de 1993, y febrero – marzo de 1998, después de los cuales se vuelve a periodos cortos de alza y baja dentro de un rango. La mayoría de periodos de la serie de caudales máximos del río Santa se mantienen en alzas y caídas dentro de un rango (Figura 4).

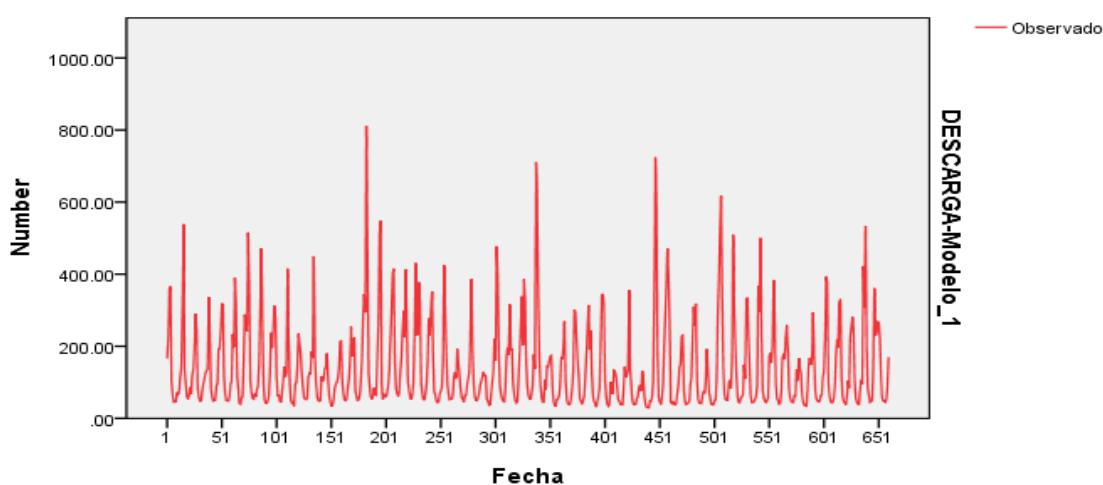


Figura 4. Caudales máximos del río Santa, enero 1956 – diciembre 2010

Discusión

Los hallazgos de este estudio se inscriben en el marco de interpretación más extendido en torno a factores que explican la disminución del caudal de los ríos: la deglaciación de cordilleras (Medina y García, 2014; Quiroz, 2013), que constituye uno de los resultados esperados del fenómeno de cambio climático que se experimentan en el mundo. En forma particular, este factor se identifica con la desglaciación de los Andes, lo que implica que los resultados no sólo se aproximan a los hallazgos de Valer (2009), sino que contribuyen con evidencia empírica a la línea de investigación que se verifica en los estudios realizados por el PNUMA (2007) y Zapata (2008).

Cabe señalar que el reconocimiento de que el fenómeno de disminución del caudal del río Santa se explique en función del cambio climático, lo que significa en términos teóricos validar las tesis del calentamiento global y efecto invernadero, lleva a considerar que, más allá del conocimiento informativo obtenido, es importante validar la perspectiva que prescribe en la gestión de la cuenca. Cabe señalar que todavía no se ha considerado con convicción la gestión de la demanda del fluido en la gestión de la cuenca; y en ese sentido, se está en una situación similar a la descrita por Portocarrero et al. (2009).

Por otro lado, cabe destacar que otras explicaciones, que tienen importante cabida en la literatura, como los fenómenos migratorios o la contaminación, no son suficientemente

convincentes en la percepción de los actores sociales que se vinculan directamente al problema.

Por otro lado, con respecto a las descargas medias del río Santa se confirma que en los meses de estiaje la media de la oferta está por debajo de la demanda (56,25 m³/s) lo que justifica que de todas maneras tanto el proyecto de CHAVIMOCHIC así como el proyecto de CHINECAS deben contar con estructuras de almacenamiento de agua, independientemente de las estructuras de almacenamiento en la cuenca alta.

Implicaciones del estudio

Los resultados del estudio invitan a considerar de suma importancia la gestión integral de la cuenca hidrográfica del río Santa, con participación de los actores de la cuenca alta, como de la cuenca baja. Este propósito se concibe en forma de la puesta en marcha de un programa de reforestación, un programa de conservación y de manejo de suelos, así como la construcción de reservorios en la cuenca alta, que permita realizar un manejo apropiado del recurso hídrico, sobre todo en la época de estiaje. Así mismo, esto permitiría asegurar la dotación de este elemento, imprescindible para la vida del planeta, no sólo en épocas de estiaje, sino incluso en temporadas de sequía. Esto significa que, casi obligatoriamente, los proyectos especiales de irrigación Chincas y Chavimochic, deberían invertir en estructuras de almacenamiento adicionales a aquellas con las que ya se cuentan en la cuenca alta.

Conclusiones

De acuerdo a la información recogida tanto en la cuenca alta (laguna de Parón), como en la cuenca baja, se encontró que la disminución del caudal del río Santa se atribuye fundamentalmente a la desglaciación acelerada provocada por el cambio climático (calentamiento global), que se verifica en las cordilleras; y en menor medida, a la falta de forestación de la cuenca alta y a la falta de reservorios en la cuenca alta.

En cuanto a las variaciones de las descargas del caudal del río Santa en épocas de estiajes y avenidas, se encontró que la media mensual en época de avenidas es de 200 m³/s, mientras que la media mensual en época de estiaje es de 56,32 m³/s, muy por debajo de la demanda requerida (120 m³/s).

Referencias

- Álvarez, R. & Amancio, F. (2014). *Bioacumulación de metales pesados en peces y análisis de agua del río santa y de la laguna chinancocha-llanganuco periodo 2012 – 2013*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Santiago Antunes de Mayolo, Huaraz, Perú.
- Franco, B., Rabatel, A., Soruco, A., Sicart, J.E., Silvestre, E.E., Ginot, P. et al. (2013). *Glaciales de los Andes Tropicales: víctimas del Cambio Climático*. Comunidad Andina.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2011). *Perú: Migración Interna Reciente y el Sistema de Ciudades, 2002-2007*. Lima: Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales.
- Jiménez, J.F., Gázquez, J.C. & Sánchez, R. (2006). La capacidad predictiva en los métodos Box-Jenkins y Holt-Winters: una aplicación al sector turístico. *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, 15(3), 185-198.
- Mogalakwe, M. (2009). The Documentary Research Method – Using Documentary Sources in Social Research. *Eastern Africa Social Science Research Review*, 25(1), 43-58. doi:10.1353/eas.0.0006.
- SEDALIB. (2018). *Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río santa como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos para la EPS SEDALIB S.A.* Recuperado de <http://www.sedalib.com.pe/upload/drive/32019/20190305-8391163904.pdf>
- Mancomunidad Municipal del valle Fortaleza y del Santa. (2017). *Recuperación de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica, en las cuencas alta, media y baja de los ríos Fortaleza y Santa, en las provincias de Recuay y Bolognesi – región Ancash*. Recuperado de http://siar.minam.gob.pe/ancash/sites/default/files/archivos/public/docs/25_estudio_hidrologico_cuenca_del_rio_santa.pdf.

- Medina, G. & Mejía, A (2014). *Análisis multitemporal y multifractal de la deglaciación de la cordillera parón en los andes de Perú. Ecología Aplicada*, 13(1), enero – julio, 35-42.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2007). *¿El fin de las cumbres nevadas? Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina*. Secretaría General de la Comunidad Andina, PNUM para el Medio Ambiente.
- Portocarrero, C., Torres, J. & Gómez, A. (2008). *Gestión del agua para enfrentar al cambio climático. Propuesta de gestión del agua como medida importante de adaptación al cambio climático en Ancash*. Lima: Soluciones Prácticas – ITDG. file:///C:/Users/agronomia/Downloads/61240620131212125353.pdf. P
- Quirós, T. (2013). *Impacto del Cambio Climático en los glaciares de las montañas Chollquepuco y Pariaqaqa (Perú)*. Trabajo de fin de grado. Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad Complutense de Madrid, España.
- Romero, A.; Flores, S.; Pacheco, W. (2010). *Estudio de la calidad de agua de la cuenca del río Santa*. Recuperado de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v13_n25/pdf/a09v13n25.pdf
- Valdés, J., Castro, D.A., Torres, W.A. & González, V.M. (2009). Modelación del régimen del caudal mensual en la cuenca baja del río Dagua mediante series de tiempo estacionales. *Heurística*, 15, 49-54. Recuperado de https://pdfs.semanticscholar.org/a953/59f358b0f1ba9cb6bb43e9f69298416631e4.pdf?_ga=2.155744187.1819918525.1595441852-971273725.1571421128
- Valer, W. (junio 2009). *El enfoque de manejo de cuencas - caso de la cuenca del Santa, Ancash, Perú*. DELOS, Revista Desarrollo Local Sostenible, 2(5), junio. 1-15.
- Villanueva, R. (2011). *Características de la cuenca del Rio Santa*. Folleto 01. Recuperado de <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2011-087.pdf>.
- Zapata, M. (2008). *Deglaciación en la cordillera blanca y el cambio climático*. INRENA. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/48056E1F0BFC79CE05257D1700614871/\\$FILE/1_Deglaciaci%C3%B3nCordilleraBlancaCambioClim%C3%A1tico.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/48056E1F0BFC79CE05257D1700614871/$FILE/1_Deglaciaci%C3%B3nCordilleraBlancaCambioClim%C3%A1tico.pdf)