

Análisis exploratorio preliminar de las series hidrológicas del río Moche 1950 – 2010 (La Libertad – Perú)

Preliminary exploratory analysis of the hydrological series of the Moche River 1950 – 2010 (La Libertad – Peru)

Félix Huaranga Moreno¹ 
<https://orcid.org/0000-0002-3557-0690>

Félix Huaranga Arévalo²
<https://orcid.org/0000-0002-7445-9696>

- 1 Laboratorio de ecología / Área de estrés ambiental. Av. Juan Pablo 11/S.N / Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, PERÚ
rhuaran@gmail.com
- 2 Diderot 605/Urb. Rázuri-Trujillo / Agrosolutions S.R.L., Trujillo, PERÚ
ricardohuaranga@hotmail.com

Recibido: 22.03.2024
Aceptado: 18.09.2024
Publicado (en línea): 30.06.2025

Huaranga, F. & F. Huaranga. 2024. Análisis exploratorio preliminar de las series hidrológicas del río Moche 1950 – 2010 (La Libertad – Perú). *Arnaldoa* 31(2): 255 - 272.
<http://doi.org/10.22497/arnaldoa.312.31203>

Resumen: En la presente investigación se analizó los cambios hidrológicos considerando los posibles cambios en los caudales en la cuenca del río Moche para mejorar a futuro el suministro de agua en esta parte de la Región La libertad; así como mitigar el impacto de comportamientos anómalos en el tiempo. Para lograr este objetivo, se recopiló información hidrológica diaria de la estación hidrométrica Quirihuac. La información diaria, mensual y anual de los caudales se sometió a un análisis de tendencias utilizando el Software R, para la caracterización y cuantificación estadística del cambio hidrológico en la cuenca, considerando para el análisis, un período natural de 60 años (1950-2010). Los resultados muestran variaciones estadísticas en la estacionalidad del flujo del período natural en relación con el período alterado. Asimismo, la evaluación muestra un incremento de los caudales durante la temporada húmeda y una reducción durante la temporada seca; en comparación con periodos alterados de ocurrencia de fenómenos el Niño, así como de pronósticos de comportamientos aleatorios que se atribuye a la persistencia de las descargas medias anuales en relación con el tiempo de retorno de los caudales en la regulación hídrica la cuenca durante ese período y a futuro.

Palabras claves: Hidrología, Cuenca, Estación hidrométrica, Estacionalidad; Período alterado.

Abstract: In the present investigation, hydrological changes were analyzed considering possible changes in flows in the Moche River basin to improve the water supply in this part of the La Libertad Region in the future; as well as mitigate the impact of anomalous behaviors over time. To achieve this objective, daily hydrological information was collected from the Quirihuac hydrometric station. The daily, monthly and annual flow information was subjected to a trend analysis using R Software, for the statistical characterization and quantification of the hydrological change in the basin, considering for the analysis a natural period of 60 years (1950-2010). The results show statistical variations in the flow seasonality of the natural period in relation to the altered period. Likewise, the evaluation shows an increase in flows during the wet season and a reduction during the dry season; in comparison with altered periods of occurrence of El Niño phenomenon, as well as forecasts of random behavior that is attributed to the persistence of the average annual discharges in relation to the return time of the flows in the water regulation of the basin during that period and to future.

Keywords: Hydrology, Basin, Hydrometric station, Seasonality; Altered period.



INTRODUCCIÓN

El Perú se ubica en el hemisferio sur, dentro de la denominada zona tropical del planeta, comprendida entre el Trópico de Cáncer (23°5' Latitud Norte) y el Trópico de Capricornio (23°5' Latitud Sur). La circulación atmosférica en América del Sur exhibe una variación estacional que responde a procesos complejos de intercambio de energía, así como a su compleja orografía por la presencia de la cordillera de los Andes; esta se extiende desde Venezuela hasta Chile con una extensión aproximada de 8 000 km, y cuya altitud llega hasta los 6 962 m.s.n.m, en Aconcagua, Argentina. La precipitación media anual fluctúa por debajo de los 100 mm/año (Perú) hasta los 10 000 mm/año (Colombia) (Centella, 2015; Manz, 2016).

Esta cordillera actúa como una barrera climática dividiendo a nuestro país en dos vertientes con climas opuestos; la vertiente oriental con un clima húmedo y presencia de precipitaciones durante el verano y la vertiente occidental con un clima árido y semiárido (SENAMHI 2012a). En los Andes del Perú durante el año se presentan dos periodos bien diferenciados, el periodo seco y el húmedo. El periodo húmedo se inicia con las primeras precipitaciones en setiembre, éstas se incrementan entre diciembre y marzo para luego disminuir a partir de abril. Por lo tanto, los meses de mayo a agosto conforman el periodo seco (Lagos *et al.*, 2008).

Dentro de este contexto, la región La Libertad de Perú es parte de esta orografía, se ubica entre los 6° 56' 38" de Latitud Sur y entre los meridianos 79° 27' 9" y 79° 41' 18" de longitud Oeste, presentando una variación climática en los diferentes tiempos del año; así el primer trimestre del mismo se le conoce como tiempo de avenida como lo demuestran los datos históricos de los últimos 60 años los cuales, fueron suministrados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI, que es la institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental, que genera conocimiento, produce información confiable, consistente y oportuna, sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente (SENAMHI, 2014); estos datos, muestran que existen problemas de déficit hídrico en tiempos de sequía, o generan impactos con daños cuantiosos durante la ocurrencia del Niño, Niño Costero o Niña.

En esta dirección, para la planeación y diseño de proyectos relacionados con el recurso agua es necesario el uso de la información hidroclimática proveniente de eventos hidrometeorológicos gobernados por las leyes del azar (Meza *et al.*, 1997). Por tanto, las predicciones sobre el particular dependen de la calidad y la cantidad de la información y de la correcta aplicación de los métodos estadísticos disponibles, pues se pretende realizar inferencias de la población a partir de una muestra (Campbells *et al.*, 2010; Cepeda *et al.*, 2018). Aunque con los años la recolección de información hidroclimática ha ido mejorando, aún muchos de los registros en los que se basa la meteorología aplicada son deficientes tanto en calidad como en cantidad, observándose series con falta de información, con cambios, tendencias y datos atípicos, circunstancias que tergiversan los resultados obtenidos de la modelación o simulación (Hirsch *et al.*, 1982; Ficklin *et al.*, 2013; Mahmoud *et al.*, 2014).

Según Lobo (2004), para el uso correcto de la información hidroclimática en la ingeniería de los recursos hídricos, ésta debe cumplir con el supuesto de estacionalidad, consistencia y homogeneidad, sin dejar aparte, en algunos casos, la independencia entre las observaciones. Cabe mencionar el cambio climático como fenómeno reciente que está alterando el clima y con éste las temperaturas y la distribución temporal y espacial de la precipitación, ocasionando la recurrencia de sequías e inundaciones, como es el caso de la presencia del Niño, La Niña o el Niño Costero; fenómenos que alteran significativamente los registros hidroclimatológicos y que pueden causar cambios y tendencias en los mismos (Chen & Taylor., 2002; Ramos *et al.*, 2012; Jiang *et al.*, 2014; Perra *et al.*, 2018).

Existen muchos estudios sobre las llamadas series hidrológicas de caudales, como el análisis estocástico de la serie de tiempo de caudales mensuales del Río Caroní, en Venezuela en la estación hidrométrica Guri para el periodo 1950–2003, utilizando el método clásico de Box y Jenkins (Guevara *et al.*, 2010). Minder (1988), plantea una experiencia del uso de series sintéticas de caudales mensuales mediante el uso de modelos markovianos en relación con la modelación hidrológica.

Estudios sobre series hidrológicas y cambio climático en el Caribe, fueron realizadas por Chen & Taylor, 2002; Campbell *et al.*, 2010; Karmalkar *et al.*, 2013; similar investigación fue realizada en Cuba por Centella *et al.*, 2008; Planos *et al.*, 2013, sugieren que la temperatura del aire podría aumentar y la precipitación disminuir a finales del siglo XXI, especialmente durante la temporada de verano. Esto, combinado con cambios en el uso de la tierra, podría tener un impacto importante en los procesos y por tanto a nivel de las series hidrológicas a nivel de cuenca.

En nuestro país, se han realizado una serie de investigaciones sobre el particular, como la modelación estocástica para la interpretación de los caudales medios anuales de la cuenca del río Santa-Perú, determinándose que el modelo autorregresivo de primer orden AR(1) es el más adecuado. Para verificar la validación de este modelamiento se han comparado las estadísticas media y variancia de las series históricas y de las series generadas, encontrándose resultados aceptables (Díaz & Guevara, 2016).

También se puede referenciar el estudio realizado por Seminario (2021), referente a determinar un modelo univariante que permita predecir el caudal del río Chira en la estación Ardilla aguas arriba del Reservorio de Poechos, ubicado en la ciudad de Sullana (Piura – Perú), realizando un análisis estocástico de las series de tiempo de caudales promedio con frecuencia diaria y semanal en la estación Ardilla para el periodo de 1951 a 2017. Asimismo, se puede mencionar al estudio realizado por Bello (2019) y Paucar (2019) en el río Vilcanota, cuyos resultados muestran variaciones en la estacionalidad del flujo del periodo alterado en relación con el periodo natural. La evaluación del flujo hídrico muestra un incremento de los caudales (superávits) durante la temporada seca y una reducción durante la temporada húmeda (déficit).

En Perú la precipitación tiene una alta variabilidad interanual y estacional caracterizada en la vertiente

occidental por lluvias de verano e inviernos relativamente secos. Estacionalmente, su orografía genera una variabilidad de estos fenómenos con alternancias de años lluviosos y sequías prolongadas en la zona norte y sur. Esta situación es particularmente destacable en las cuencas hidrográficas de la Región La Libertad, donde vive aproximadamente el 10% de la población del país. Además, los recursos hídricos de esta cuenca ha estado bajo presión debido a las crecientes demandas de riego por el boom de la agroexportación, ya que la agricultura es el principal uso de la tierra en esta cuenca. Por otro lado, en esta cuenca ya se ha documentado inundaciones recurrentes y sequías relacionadas con el fenómeno El Niño, La Niña y el Niño Costero, escasez de suministro de agua, deslizamientos de tierra y erosión del suelo.

En este contexto se necesitan herramientas científicas y de gestión que evalúen, en los ámbitos regional y local, el impacto potencial de las precipitaciones y del cambio climático en la disponibilidad de los recursos hídricos en el futuro de estas cuencas. Asimismo, los escenarios de cambio climático son de interés para los administradores de los recursos hídricos en esta región y el conjunto de regiones del país y podrían servir como un marco de referencia para la planificación y gestión del recurso hídrico a nivel de cuenca.

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización de la zona de estudio

La cuenca del río Moche políticamente se localiza en la Región La Libertad, comprendiendo total o parcialmente las provincias de Trujillo, Otuzco, Santiago de Chuco y Julcán. Geográficamente sus puntos extremos se hallan comprendidos entre los 7°46' y 8°15' de Latitud Sur y los 78°16' y 79°08' de Longitud Oeste. Altitudinalmente, se extiende desde el nivel del mar hasta la línea de cumbres de la Cordillera Occidental de los Andes, cuyos puntos más elevados están sobre los 4000 m.

Nace en la Laguna Grande, sobre los 3988 m, en las cercanías del pueblo de Quiruvilca, con el nombre de río Grande, adoptando posteriormente los nombres de río San Lorenzo y río Constancia. A la altura de la localidad de San Juan, a unos 14 km de su origen, toma el nombre de río Moche, el mismo que conserva hasta su desembocadura en el mar. Su cuenca tiene un área total de drenaje, hasta su desembocadura en el océano Pacífico, de 2708 km² y la longitud máxima de recorrido, desde sus nacientes hasta su desembocadura es de 102 km, con una pendiente promedio de cauce de 4 %.

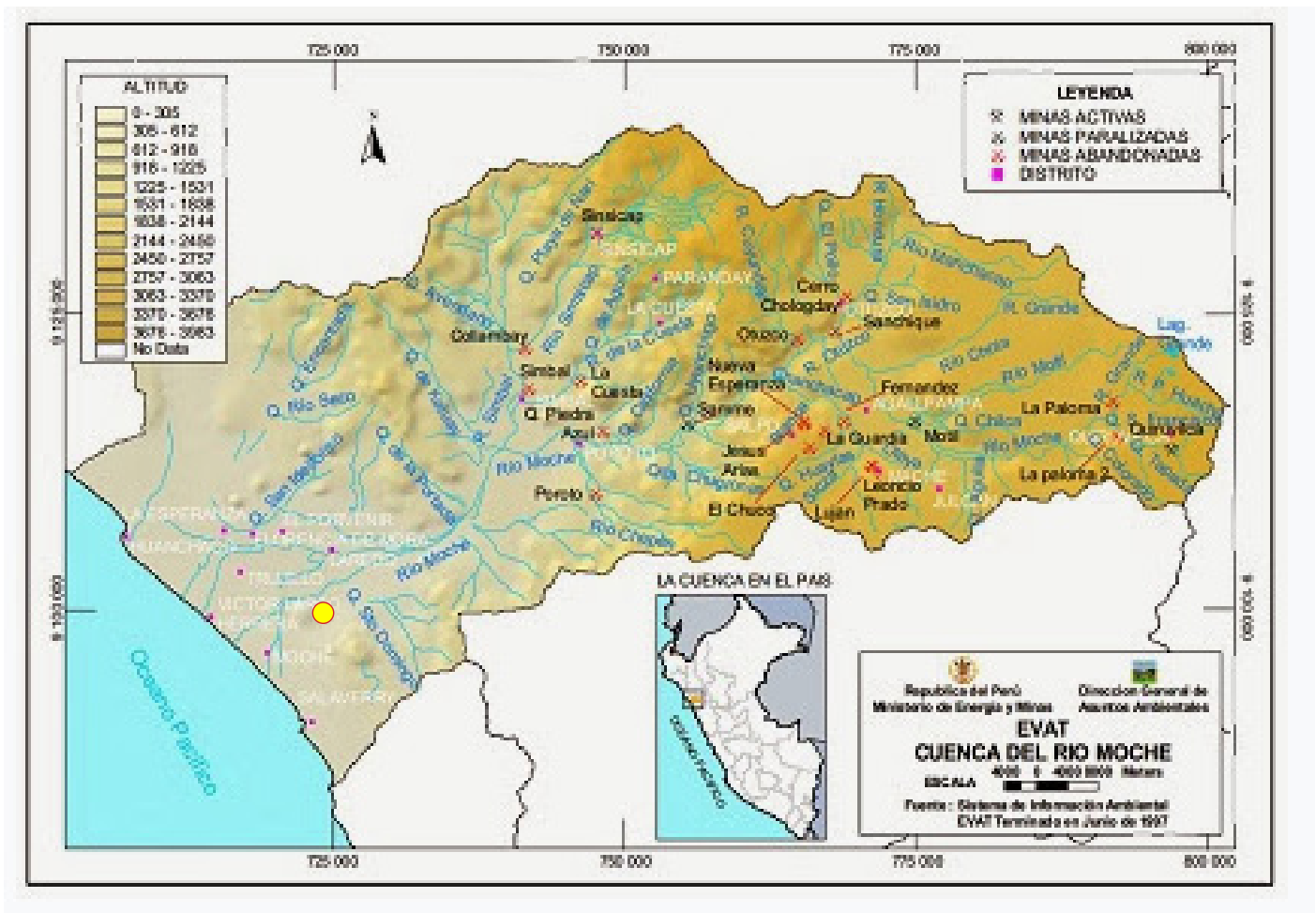


Fig. 1. Ubicación de la estación hidrometeorológica Quirihuaac (●)

Tomado de Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Asuntos Ambientales.

METODOLOGÍA

Estación de descarga utilizada

Los datos de descarga diaria, mensual y anual de la cuenca del río Moche fueron obtenidos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, <http://www.ana.gob.pe>), tomando como referencia la estación Quirihuac (8°05' de Latitud Sur y los 78°52' de Longitud Oeste), que es la estación operativa en esta cuenca. Por la ubicación de la cuenca, las descargas se concentran en los meses de verano (Enero-Febrero-Marzo), donde la precipitación fluctúa entre un 50% y 70% del total anual. La estación de estiaje se produce en los meses de Junio-Julio-Agosto.

Análisis exploratorio de datos.

El análisis estadístico e inferencial fue desarrollado utilizando los siguientes Softwares: MS Excel y R, utilizados para el análisis estadístico y la generación y presentación de figuras. Para el caso del software R, se usó la versión R-4.3.3 for Windows. El Software fue descargado de la web: <https://www.r-project.org/>

Inicialmente se verifico que los datos de caudales por día estén completos para todos los años; en aquellos meses que faltaron datos se realizó la completación de ellos utilizando la metodología del análisis de regresión (Marin, 2021); a continuación se procedió a realizar los cálculos de conversión de L/s a m³/s; luego se hizo el cálculo de los caudales promedio, la suma promedio, mínimo, máximo y cálculo de la masa de agua mensual en m³; con la finalidad de hacer el análisis de tendencias, el balance hídrico y determinar los caudales máximo y mínimos para diseños de infraestructuras (canales, carreteras, puentes), estudios de máximas avenidas y períodos de retorno; así como caudales mínimos, para estudios de sequías y prevención del efecto de sequías.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una serie hidrológica de tiempo como el que se ha trabajado en la presente investigación, es el conjunto de datos numéricos que se obtienen en períodos regulares a través del tiempo, lo que también se conoce como series hidrológicas temporales o series cronológicas (Bello & Martinez, 2007).

Así, la serie hidrológicas motivo de estudio fue monitoreada en la estación hidrométrica Quirihuac por los métodos tradicionales, usando molinete y la medición constante del nivel con un limnómetro. La base de datos disponible para este estudio es el escurrimiento medio diario, durante el período medido de 1950 a 2010 (ANA). En la Tabla 1, se destaca que, en este período, la estación ha registrado en promedio un escurrimiento anual de 8.67 m³/s, un máximo observado de 213.07 m³/s, mientras que el mínimo fue de 0.01 m³/s, y la media mensual osciló entre 0.48 y 30.17 m³/s. Mientras que la Tabla 2, se destaca que en este período analizando la base de datos sin Niños, la estación ha registrado en promedio un escurrimiento anual de 7.88 m³/s, un máximo observado de 95.27 m³/s, mientras que el mínimo fue de 0.01 m³/s, y la media mensual osciló entre 0.43 y 26.62 m³/s (Tabla 1).

Es por ello, que la suposición básica que soporta el análisis de series hidrológicas temporales como las que se

presenta en la investigación, es que los factores que han ocasionado patrones o tendencias en el pasado y en el presente continuarán haciéndolo, más o menos de la misma forma en el futuro, por lo que el análisis de series temporales es fundamental para identificar tales factores (Sánchez & Sánchez, 2009; Linsley *et al.*, 1982; Bradley, 1998; León, 2014; Bello, 2019).

En términos globales, para el cálculo del déficit y superávit de una serie hidrológica se requiere estimar las caudales anuales y/o estacionales para cada año y mes de análisis. Asimismo, los caudales naturales del período de estudio se emplean para calcular el percentil 75 y 25 anuales y/o estacionales, considerados como los límites superiores e inferiores del rango adaptativo para los ecosistemas fluviales (Faber, 2010; Hirsch *et al.*, 1982; Hirsch, 2010; Bello, 2019).

Si los caudales anuales o estacionales de un año dado se ubican por encima del percentil 75, la valoración corresponde a una época de superávit hídrico; mientras que si los caudales anuales o estacionales de un año dado se ubican por debajo del percentil 25, como es el caso de la presente investigación (Tabla 1 y 2), a este comportamiento se le define como de déficit. En relación a este análisis, Vogel *et al.*, 2007 y Vega *et al.*, 2018, sugieren que los valores de superávit y déficit se dividan por la media anual o la media estacional para hacerlos adimensionales, y puedan ser comparables entre diferentes indicadores. Sostienen también que superávit y déficit explican la dinámica fluvial de las alteraciones de un río

Richter (1996) y Yang (2016), en relación con el déficit y superávit hídrico, manifiestan que los Indicadores de Alteración Hidrológica (IAH), se componen de 33 parámetros hidrológicos, los que caracterizan la variación intra e interanual del caudal de un río, basados en datos de caudales diarios (Anexo 1), lo que permite un análisis de las modificaciones del régimen de acuerdo con cinco características: la magnitud de los caudales mensuales, la magnitud y la duración de los caudales extremos anuales, el calendario de los caudales extremos anuales, la frecuencia y duración de los pulsos altos y bajos, velocidad y frecuencia de los cambios de caudal, situaciones analizadas en la presente investigación, Hechos determinados en la presente investigación (Tablas 1 y 2).

Asimismo, Minder (1998), Smith y Campuzano (2000) y Lobo (2004) sostienen que el análisis y modelado de datos de series hidrológicas como la presente investigación, asume que los datos dados son estacionarios en la media y en la varianza; si ninguna de las series tiene cambios en la media, la gráfica será una línea recta; por tanto un cambio en la media en una de las series causa un cambio en la pendiente. Sin embargo, Quorda (2010) y (Olsen *et al.*, 2010), mencionan que si hay cambios o tendencias en los datos, la suposición de estacionariedad no es válida como es el caso de la presente investigación (Tabla 1 y 2, y Fig. 1 y 3). Asimismo, se sugiere que de presentarse estos casos, el cambio o la tendencia en los datos necesita ser identificada, modelada, estimada y, en algunos casos, removida de la serie original para análisis posteriores (Faber, 2010; Díaz y Camacho, 2012; Rivasplata, 2019).

De los estadísticos descriptivos mostrados en la Tabla 1 y 2, se puede decir que las medidas de tendencia central,

media y mediana no muestran una diferencia mayor al 10%, comparando la mediana con respecto a la media (Fig.2). Los coeficientes de variación de las series no sobrepasan el 1.43%, para el caso del valor de la media. Asimismo, la Tabla 1 y 2 que resumen la estadística descriptiva básica para la serie analizada a escala anual, determina que el valor medio del coeficiente de asimetría (2.93) es mayor que cero, lo que determina que la serie es asimétrica a la derecha, patrón típico de las series hidrológicas (Fig. 4,5,6 y 7), resultados similares fueron encontrados por Rodríguez & Marrero (2015); Rivero *et al.* (2018) y Marín (2021).

Asimismo, Ore (2016), sostiene que el análisis de la información hidrometeorológica que se realiza a las componentes determinísticas transitorias de la serie, son los saltos y las tendencias, en cada uno de los cuales se analiza la consecuencia en los dos primeros parámetros estadísticos: media y desviación estándar (Fig. 3). Sobre el particular, Rivasplata (2019), plantea que la tendencia es el componente determinístico que provoca un cambio continuo en un registro histórico correspondiente a una serie hidrometeorológica; por ejemplo, cambio ascendente o descendente continuo en los caudales (Fig. 1 y 3).

Asimismo, las Figuras 1 y 3, son gráficas de series de tiempo que nos muestran una tendencia definida, pero muestran también una alta dispersión en los datos en algunas partes de las series. Se observa en la estación Quirihuac saltos marcados en los años 1972/1973, 1982/1983 y 1997/1998, los que producen un cambio en la medida de tendencia central y también en la varianza (suposición que será posteriormente comprobada con el análisis confirmatorio). Los gráficos, muestran también que en algunas de las series existe una diferencia en la dispersión de los datos; es así como durante la presencia de los Niños durante el análisis de las series estos muestran rangos intercuartílicos en cada subconjunto de la serie que parecen diferir en forma significativa una de la otra, lo que puede manifestar falta de estabilidad en la varianza (Lavado y Espinoza, 2014).

Específicamente, asociando los efectos del ENOS (El Niño Oscilación Sur), fenómeno atmosférico que influye en las condiciones climáticas del Pacífico Sur cada cierto período, provocando ciclos de entre siete a ocho años como promedio. Los resultados de la presente investigación pueden estar reflejando este contexto (Niño 72/73, 82/83 y 97/98) (Anexo 3 y 4). Sin embargo, no existen elementos suficientes para concluir esto, la cantidad de valores analizados parece ser aún insuficiente para detectar una conexión en este fenómeno que es cíclico, pero errático (Lagos *et al.*, 2008; Avilés *et al.*, 2016; Rau *et al.*, 2017).

Estos cambios o tendencias pueden ser el resultado de factores naturales o de intervenciones humanas. Por ejemplo, eventos naturales tales como incendios forestales, explosiones volcánicas, o deslizamientos pueden inducir cambios y tendencias en series hidrológicas, mientras que los cambios realizados por el hombre ocurren debido a cambios en el clima y en el uso de la tierra tales como talas forestales o, en general, destrucción o alteración de la cobertura vegetal, pastoreo de ganado, alteración del suelo (erosión y compactación), modificación de prácticas agrícolas, construcción de caminos, y minería de superficie, entre otros

(Drenkhan *et al.*, 2015; Gonzales *et al.*, 2015; Mittal *et al.*, 2014; Ochoa *et al.*, 2016; Rolls *et al.*, 2018).

Por otro lado, relacionado con la presente investigación, McLeod *et al.*, 1983, consideran que existen dos tipos de análisis secuenciales para detectar cambios y tendencias en una serie hidrológica. El primer análisis, llamado análisis exploratorio, que es el motivo de la presente investigación, el que tiene como objetivo descubrir propiedades importantes de los datos usando análisis gráfico y análisis estadístico básico. El segundo análisis, llamado análisis confirmatorio, tiene como objetivo confirmar estadísticamente la presencia o ausencia de ciertas propiedades en los datos, a través de una serie de modelamientos hidrológicos.

Además, generalmente, el primer paso en cualquiera análisis de datos para detectar cambios y tendencias es graficar los datos en la forma de una serie de tiempo. Las gráficas de series de tiempo como la que se muestra en la Fig. 1, de los datos observados (Anexos 1y 2) muestran su variabilidad temporal (con un máximo en los meses de febrero, marzo y abril, y una mínima en el mes de agosto) y usualmente proveen una información rápida y valiosa para investigar la existencia de un cambio o una tendencia en la serie de tiempo (Fig. 3); resultados similares fueron determinados por Tukey (1977); McLeod *et al.*, 1983; Hirsch (1982); Berguin (2013) y Guerrero (2015).

Asimismo, Maidment (1993); Sánchez, (1999) y Smith & Campuzano (2000), Castro & Carbajal (2010), remarcan que las gráficas de cuantiles es una forma de visualizar gráficamente estadísticos básicos anuales y estacionales, como es el caso de la presente investigación; así la interpretación de los resultados de cuantiles usada aquí muestra los estadísticos siguientes: el máximo, el percentil de 75%, el percentil de 50% (el del medio), la media, el percentil del 25% y el mínimo (Tablas 1 y 2). Por ello, para propósitos de detección de cambios o tendencias, los resultados de los cuantiles de la primera porción de la serie de tiempo (es decir, antes del punto de cambio sospechoso) y los resultados de los cuantiles de la segunda porción de la misma serie de tiempo (es decir, después del punto de cambio sospechoso) pueden ser determinadas y comparadas.

Maidment (1993), Kottegoda & Rosso (1997), Sheskin (1997), sostienen también que para la detección de cambios espaciales en la media y en la varianza que pueden tener un origen natural o antropogénico, los cuantiles pueden ser usados para comparar los estadísticos de un grupo de series localizadas en una región dada, como es el motivo de la presente investigación. De otra parte, diferencias en las características estadísticas como la media y la mediana (Tablas 1 y 2, y Fig.2), podrían indicar un cambio en la media de la serie, hecho comprobado en la presente investigación. Por tanto, diferencias en el rango del percentil y en el rango máximo a mínimo podrían indicar un cambio en la varianza. Si existe una diferencia significativa entre los resultados de los cuantiles de la primera porción de la serie de tiempo (1950 – 2010), y la segunda porción de la serie, entonces el tiempo donde esas dos subseries fueron separadas indica el tiempo en que el punto de cambio ocurrió, dicho cambio representado por la presencia de los Niños 1967 – 1968, 1997 – 1998 y 2001 – 2002 (Fig. 3).

Sobre el particular, Tukey (1977), sostiene que a veces la serie de observaciones muestra tan alta variabilidad que cualquier cambio o tendencia presente en la serie no puede fácilmente ser identificado, que no es el caso de la presente investigación. Por otro lado, Jacobo *et al.*, 2009, afirman que la variabilidad climática natural puede deberse a factores externos o internos a lo largo de diferentes escalas de tiempo (por ejemplo, los ciclos de Milankovic, la actividad solar, la actividad volcánica, los fenómenos macroclimáticos como el calentamiento del océano Pacífico tropical, la zona de convergencia intertropical, las oscilaciones intra estacionales, etc.), los que pueden en algunos casos mostrar cuasi-periodicidad y persistencia hidrológica.

En el caso del estudio sobre series hidrológicas del río Calima en Colombia (Smith y Campuzano (2000), la gráfica de serie de tiempo muestra una tendencia decreciente, característica que se refleja en la gráfica que la explica, ya que esta no es una línea recta y la pendiente de la gráfica decrece con el tiempo; similar resultado fue determinado en los ríos Cauto y Guadalupe de Cuba, donde destacan los procesos de escorrentía superficial y flujo base. En cambio en el presente estudio, el parámetro que domina la dinámica hidrológica de la cuenca del Río Moche es controlado por el parámetro escorrentía superficial. Estos resultados resaltan la similitud con los obtenidos con éxito de diferentes procesos hidrológicos en diversas regiones del mundo, y es consistente con las conclusiones de estudios previos (Fukunaga *et al.*, 2015; Malago *et al.*, 2015).

Las zonas áridas y semiáridas como es el caso de la franja costera peruana son regiones que sufren de escasez de agua (Mahmoud *et al.*, 2014) y enfrentan alta variabilidad de precipitaciones interanuales, que comúnmente se asocian a eventos extremos como inundaciones y sequías. En estas regiones algunos autores han encontrado también cambios significativos en los patrones de precipitación con tendencias decrecientes que impactan el caudal (Jiang *et al.*, 2014; Molina *et al.*, 2016; Perra *et al.*, 2018; Niraula *et al.*, 2015).

En este contexto, Díaz & Camacho (2012), sostienen que la probabilidad de ocurrencia de eventos anómalos en las series hidrológicas están relacionados con los diseños de estructuras para control de inundaciones, drenaje y control de contaminación los cuales se basan en una magnitud hidrológica de diseño, que permite dimensionar la estructura. Esta magnitud tiene dos características importantes: (1) un valor límite superior, y (2) una estructura probabilista representada por una función de densidad de probabilidad asociada, con base en la cual se pueden definir períodos de retorno a diferentes magnitudes hidrológicas (Cometa, 1977).

En algunos casos, se utiliza como valor de diseño, el valor límite superior, por ejemplo, en el diseño de vertederos de grandes presas donde éstos se diseñan para la creciente máxima probable (conceptualmente no habría ninguna amenaza residual). Sin embargo, en la mayoría de los casos, los diseños se realizan con base en el concepto de período de retorno de diseño. El período de retorno se define como el número de años que en promedio la magnitud hidrológica es igualada o excedida y, por lo tanto, los diseños hidrológicos basados en períodos de retorno conllevan intrínsecamente una amenaza hidrológica residual (Tabla 3 y Fig. 8)

Sobre el tema, Díaz (2001) y Van der Meer *et al.*, (2009), sostienen que muchas estructuras hidráulicas se diseñan con base en la definición de un período de retorno de diseño y, consecuentemente, tienen amenaza hidrológica residual expresada como una probabilidad de que la estructura sea hidrológicamente sobrepasada. De igual modo, Cometa (1977) y Linsley *et al.*, (1982), afirman que una estructura se diseña para un período de retorno de 100 años, y donde se espera que sea sobrepasada en promedio 1 vez cada 100 años, lo cual es equivalente a decir que la probabilidad de que en cualquier año de la vida útil de la estructura se presenta un evento igual o mayor que el de diseño es de 1/100; en la presente investigación los períodos de retorno han fluctuado desde un caudal de 1.36 m³/s con una probabilidad de ocurrencia de 1 vez cada 1.02 años, hasta un máximo de caudal de 42.59 m³/s de 1 vez cada 62 años (Tabla 3, Fig. 8)).

CONCLUSIONES

Los registros históricos e información contextual de series hidrológicas son una fuente fundamental para analizar el comportamiento de sistemas hidrológicos como es el caso del río Moche.

Los análisis exploratorios dan una buena información estadística sobre el comportamiento general de la serie hidrológica que se analiza, y donde los diferentes gráficos resaltan diferentes propiedades de la serie los que se pueden considerar como complementarios.

El análisis exploratorio es un complemento al análisis confirmatorio en donde se usan diferentes modelos estocásticos de los caudales con la finalidad de determinar la disponibilidad hídrica actual y futura de una cuenca.

En la cuenca del río Moche se hace necesario incrementar esfuerzos de medición, análisis y modelación para conocer más adecuadamente su comportamiento integral e intentar estimarlo con mayor precisión a futuro.

El análisis del comportamiento temporal (tendencia y quiebres) del caudal de la serie hidrológica del río Moche, mostró que la variación (interanual y estacional) del caudal estuvieron influenciados por la periodicidad de la precipitación.

La caracterización de la variabilidad interanual (60 años) de los caudales en la cuenca del río Moche, explican la cuantificación de las alteraciones hidrológicas y su correspondencia con la variabilidad de la precipitación durante el período estudiado.

Los caudales mensuales del periodo alterado (1952 – 1953, 1982 – 1983 y 1997 – 1998) en comparación con el periodo natural (Sin Niños), exhiben un incremento durante la temporada de avenida y una reducción en la temporada de estiaje.

A nivel interanual, el análisis del caudal mostró un comportamiento heterogéneo en el régimen de los caudales (periodo sin Niños). Los déficits anuales fueron reducidos y se presentaron alternados durante el periodo de estudio, mientras que los superávits anuales mostraron un incremento (en frecuencia y magnitud variable) durante la presencia de los eventos El Niño.

La cuantificación de la alteración en el régimen de los caudales mediante el estudio preliminar de la serie hidrológica de la cuenca del río Moche, confirmó que del mes de enero a marzo (periodo alterado) existió un incremento del caudal promedio, mientras que del mes de mayo a setiembre este se redujo, dicha variabilidad es resultado del comportamiento de la precipitación anual.

El análisis de persistencia de las descargas medias anuales proyectadas en el tiempo, nos dan una buena aproximación de los periodos de retorno de los caudales en términos de probabilidad.

RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar al menos una estación hidrométrica adicional en la parte media y alta de la cuenca del río Moche con la finalidad de registrar y comparar la evolución del caudal en diferentes puntos de la cuenca.

El análisis de las series hidrológicas de la cuenca debe ser complementado con mapas de vegetación, temperatura, variables hidrobiológicas (riquezas de especies) que permitan verificar si la alteración en el régimen del caudal ha beneficiado y/o ocasionado algún efecto sobre los componentes bióticos y la calidad ecológica de la cuenca del río Moche.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ing. Hipólito Cruchaga, de INDECI, por su constante apoyo en el desarrollo de la presente investigación.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

F.H.M, por la dirección y materialización de la presente investigación. F.H.A. por su contribución con el análisis estadístico y la generación de los gráficos pertinentes.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

LITERATURA CITADA

- Avilés, A; Solera, A & J, Paredes.** 2016. Análisis del rendimiento de sistemas hídricos en desarrollo mediante el acople de modelos estocásticos hidrológicos y optimización de redes de flujo. *Ingenius* (15): págs. 48-57. ISSN: 1390-650X. DOI: <http://dx.doi.org/10.17163/ings.n15.2016.05>.
- Bello, C.** 2019. Cuantificación de la alteración hidrológica de la cuenca del río Vilcanota para el periodo 1965 – 2016. Tesis para Optar el Grado de Magister Scientiae en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Univ. Nac. Agraria La Molina, Lima – Perú. 117 pp.
- Bello, L & S, Martinez.** 2007. Una metodología de series de tiempo para el área de la salud; caso práctico. *Rev. Fac. Nac. Salud Publica*.
- Berguin, E.** 2013. Statistical downscaling for hydrological applications in the tropical andes. Imperial College.
- Bradley, A.** 1998. Métodos de análisis de frecuencia regional para evaluar cambios en extremos hidrológicos. *Water Resources Research*, Vol. 34 (4). págs. 741-750.
- Campbell, J.; M, Taylor; T, Stephenson; R, Watson & F, Whyte.** 2010. Future climate of the Caribbean from a regional climate model. *Int. J. Climatol.* 31págs. 1866-1878, <https://doi.org/10.1002/joc.2200>.
- Castro, L & Y, Carvajal.** 2010. Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, Cali, Colombia (99). págs. 15-25.
- Centella, A.; M, Taylor; A, Bezanilla; D; Martinez; J, Campbell; T, Stephenson & A, Vichot.** 2015. Assessing the effect of domain size over the Caribbean region using the PRECIS regional climate model. *Clim. Dyn.* 44. Págs. 1901-1918, <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2272-8>.
- Cepeda, E.; J, Achcar & M, Andrade.** 2018. Seasonal hydrological and meteorological time series. *Earth Sciences Research Journal*, 22(2).págs. 83-90.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/esrj.v22n2.65577>
- Cometa, G.** 1977. Análisis de frecuencia y riesgos en hidrología, California: Publicaciones de recursos hídricos.
- Chen, A & M, Taylor.** 2002. Investigating the link between early season Caribbean rainfall and the El Niño +1 year. *Int J. Climatol.* 22. págs. 87 – 106.
- Díaz, M.** 2011. Algunas reflexiones sobre el diseño hidrológico a propósito de la reciente ola invernal: XIX Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología y el I Foro Nacional sobre la Seguridad de Embalses. Universidad del Valle.
- Díaz, M y L, Camacho.** 2012. Valoración de los cambios hidrológicos en la Cuenca del río Bogotá. *Rev. Ingeniería* (31).
- Díaz, A y E, Guevara.** 2016. Modelación estocástica de los caudales medios anuales en la cuenca del río Santa, Perú. *Revista Ingeniería UC*. Vol. 23 (2). págs. 172-185.
- Drenkhan, F.; M. Carey; C. Huggel; J. Seidel & M. Oré.** 2015. The changing water cycle: Climatic and socioeconomic drivers of water-related changes in the andes of Peru. *Wley Interdisciplinary Reviews: Water*. <https://doi.org/10.1002/wat2.110>
- Faber, B.** 2010. Métodos actuales para el análisis de frecuencia hidrológica, en Taller sobre no estacionariedad, análisis de frecuencia hidrológica y gestión del agua,oulder, Colorado. Water Institute, Information Series No. 109.
- Ficklin, D.; I, Stewart y E, Maurer.** 2013. Efectos del cambio climático sobre la temperatura de los arroyos, el oxígeno disuelto y la concentración de sedimentos en la Sierra Nevada de California. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20248>
- Fukunaga, D.; R, Avelino; S, Zanety; T, Olivera & M, Costa.** 2014. Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil. *Catena*, 125.págs.206-213, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.032>.
- González, D.; L, Garrote; A; Iglesias; A, Granados & A, Chávez, A.** 2015. Hydrologic determinants of climate change impacts on regulated water resources systems. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-0920-3>.
- Guerrero, D.** 2015. Cuantificación de la alteración hidrológica en la cuenca amazónica para el periodo 1974-2012. UNALM.
- Guevara, E.; C. Vega & E. Guevara.** (2010). Análisis estocástico de una serie cronológica de caudales mensuales. Caso de estudio: Río Coroní, Venezuela. *Revista Ingeniería UC*. Vol. 17 (1). págs. 46-54.

- Higuera, L y W. Rojas.** 2019. Pronóstico del caudal del río Cravo Sur, sector del Morro - puente la Cabuya, departamento de Casanare, Colombia. *Rev. de Investigación Agraria y Ambiental*. Fundación Universitaria Internacional del Trópico Americano UNITROPICO, Yopal Casanare, Colombia. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.2840>
- Hirsch, R.; J. Slack & R. Smith.** 1982. Técnicas de análisis de tendencias para datos mensuales de calidad del agua. *Water Resources Research*, Vol., 18 (1). págs. 107 – 121.
- Hirsch, R.** 2010. Perspectiva sobre la no estacionariedad en la gestión del agua. *Colorado Water*, Vol.27 (2).
- Jacob, D.; D. Karoly & A. Seed.** 2009. Análisis de frecuencia de precipitaciones: ¿El supuesto de estacionariedad sigue siendo válido?. *Novena Conferencia Internacional sobre Meteorología y Oceanografía del Hemisferio Sur*, Melbourne, Australia.
- Jiang, L.; X. Ban; X. Wang & X. Cai.** 2014. Assessment of hydrologic alterations caused by the three gorges dam in the middle and lower reaches of Yangtze River, China. *Water (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/w6051419>.
- Karmalkar, A.; J. Thibeault; A. Bryan & A. Seth, A.** 2019. Identifying credible and diverse GCMs for regional climate change studies—case study: Northeastern United States. *Climatic Change*, 154(3–4), págs.367–386. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02411-y>
- Kottegoda, N. & R. Rosso.** 1997. Statistics, probability and reliability for civil and environmental engineers. The McGraw – Hill Companies, Inc. United States of America.
- Lagos, P.; Y. Silva; E. Nickl & K. Mosquera.** 2008. El Niño, related precipitation variability in Perú. *Advances in Geosciences*.
- Lavado, W. & J. Espinoza.** 2014. Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007). *Revista Brasileira de Meteorologia*. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000200003>.
- Leon, K.** 2014. Análisis espacio - temporal de las precipitaciones y caudales durante los eventos El Niño (1982-83 y 1997-98) en la costa norte peruana. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.
- Linsley, R.; M. Kohler & J. Paulhus.** 1982. *Hydrology for engineers*. Tercera Edición, Nueva York: McGraw-Hill.
- Lobo, L.** 2004. Guía metodológica para la delimitación del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe – CAZALAC – UNESCO PHI – Gobierno de Flandes. http://www.cazalac.org/mapa_alc_guia.php.
- Lobo, E.** 2017. Estudio hidrológico e hidráulico para la identificación de la vulnerabilidad a desbordamientos de la cuenca baja del río coata – puno. Tesis Para Optar el Título de Ing. Agrícola. Univ. Nac. Agraria La Molina, Lima – Perú.
- Manz, B.** 2016. Evaluation and advancement of satellite precipitation estimation over the tropical andes. Imperial College London.
- Mahmoud, A.; A. El-Naga; M. Jaber & N. Hammouri.** 2014. Water scarcity impact on climate change in semi-arid regions: a case study in Mujib basin, Jordan. *Arab J. Geosci.* 8. págs. 951 – 959.
- Maidment, D.** 1993. *Handbook of hydrology*. McGraw – Hill, Inc. United States of America.
- Malago, A.; D. Efstathiou; F. Bouraoui; N. Nikolaidis; M. Franchini; G. Bidoglio & M. Kritsotakis.** 2016. Modelización hidrológica a escala regional de una geomorfología kárstica dominante: el estudio de caso de la isla de Creta. *Rev. De Hidrología*, Vol. 40. págs. 64 – 81. <https://doi.org/10.1016/j.jhidrol.2016.05.061>
- McLeod, A.; K. Hipel & F. Camacho.** 1983. Trend assessment of water quality time series, *Water Resour. Bulletin*; 19(4). págs. 537-547.
- Mesa, O.; G. Poveda & L. Carvajal.** (1997). Introducción al clima de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia. Universidad del Valle.
- Minder, E.** 1998.. Modelación hidrológica y su efecto en los precios spot. VIII Congreso Latinoamericano de control automático y XIII Congreso de la Asociación chilena de control automático. págs. 139–145.
- Mittal, N.; A. Mishra; R. Singh; A. Gajanan & M. Van Der Valk, M.** 2014. Flow Regime Alteration Due to Anthropogenic and Climatic Changes in the Kangsabati River, India. *Ecohydrology and Hydrobiology*. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2014.06.002>.
- Molina, E.; M. Hallack; S. Martínez; J. Ramírez; A. Mungaray & A. Sastre.** 2016. Hydrological modeling and climate change impacts in an agricultural semiarid region. Case study: Guadalupe River basin, México. *Agric. Water Manag.* 175. págs. 29-42. <https://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.029>.
- Marín, R.** 2021. Utilización de modelos univariantes ARIMA y la predicción de datos de precipitación en la microcuenca Amajú, Jaén, Cajamarca, 2021. Tesis para Optar el Título de Ing. Civil. Univ. César Vallejo. 86 pp.
- Niraula, R.; T. Meixner & L. Norman.** 2015. Determining the importance of model calibration for forecasting absolute/relative changes in streamflow from LULC and climate changes. *J. Hydrol.* 522. Págs. 439-451. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.007>.
- Olsen, J.; J. Kiang & R. Waskom.** 2010. Taller sobre no estacionariedad, análisis de frecuencia hidrológica y gestión del agua. Boulder, Instituto del Agua de Colorado, Serie de información No. 109.
- Ochoa, B.; W. Buytaert; B. De Bièvre; R. Céleri; P. Crespo; M. Villacís; C. Llerena; L. Acosta; M. Villazón; M. Gualpa; J. Gil; P. Fuentes; D. Olaya; P. Viñas; G. Rojas & S. Arias.** 2016. Impacts of Land Use on the Hydrological Response of Tropical Andean Catchments. *Hydrological Processes*. <https://doi.org/10.1002/hyp.10980>.
- Ore, Y.** 2016. Caracterización hidrológica de la microcuenca del río Huanta - Huanta - Ayacucho. Tesis para Optar el título de Ing. Agrícola. Univ. Nacional San Cristóbal de Huamanga., Ayacucho - Perú. 186 pp.
- Paucar, M.** 2019. Aplicación del modelo hidrológico HEC-HMS y su calibración en la cuenca del Río Vilcanota, Cusco, 2017. Tesis para Optar el Título de Ingeniero Civil. Univ. San Antonio de Abad del Cusco.
- Perra, E.; M. Piras; R. Deidda; C. Paniconi; G. Mascaro & E. Vivoni.** 2018. Multimodel assessment of climate change-induced hydrologic impacts for a Mediterranean catchment. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22. Págs. 4125-4143. <https://doi.org/10.5194/hess-2018-165>.
- Planos, E.; A. Guevara & R. Rivero.** 2013. Cambio climático en Cuba: vulnerabilidad, impacto y medidas de adaptación.

- Multimedia Instituto de Meteorología de Cuba. Editorial AMA. ISBN 978-959-300-035-2.
- Ouarda, T.** 2010. Análisis bayesiano de frecuencia no estacionaria de variables hidrológicas, en Taller sobre no estacionariedad, análisis de frecuencia hidrológica y gestión del agua, Boulder, Colorado. Colorado Water Institute, Serie de información N° 109.
- Ramos, M.; J. Balasch & J. Martínez.** 2012. Seasonal temperature and precipitation variability during the last 60 years in a Mediterranean climate area of Northeastern Spain: a multivariate analysis. *Theor. Appl. Climatol.* Vol. 110. págs. 35 – 53.
- Rau, P; L. Bourrel; D. Labat; P. Melo; B. Dewitte; F. Frappart; W. Lavado & O. Felipe.** 2016. Regionalization of rainfall over the Peruvian Pacific slope and coast. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.4693>.
- Richter, B.; J. Baumgartner; J. Powell & D. Braun.** 1996. A Method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology*. <https://doi.org/10.2307/2387152>.
- Rivasplata, L.** 2019. Generación de escurrimiento superficial a partir de información climática en la cuenca Quebrada Huertas, Chilte, Cajamarca. Tesis para Optar el Título de Ing. Hidráulico. Univ. Nac. de Cajamarca. 118 pp.
- Rivero, A.; G. Alonso & A. Lau.** 2018. Modelación lineal estocástica para el pronóstico de caudales en cuenca, región occidental de Cuba. *Rev Cie Téc Agr* vol.27 (4).
- Rodríguez, L y N. Marrero.** (2015). Simulación hidrológica en dos subcuencas de la cuenca del río Zaza de Cuba. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(2): 109-123, ISSN: 1680-0338.
- Rolls, R.; J. Heino; D. Ryder; B. Chessman; I. Growns; R. Thompson & K. Gido.** 2018. Scaling biodiversity responses to hydrological regimes. *Biological Reviews*. <https://doi.org/10.1111/brv.12381>.
- Sánchez, J.** 1999. Manual de análisis estadístico de los datos. Segunda edición. Alianza Editorial S.A. Madrid.
- Sánchez, J. & M. Sánchez.** 2009. Generación de series sintéticas mensuales del río Chira mediante el uso de modelos markovianos. *Anales Científicos*, Vol. 70 (2). págs. 190–195.
- Seminario, J.** 2021. Modelos de predicción para el caudal del río Chira en la estación Ardilla. Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Piura, Perú. 132 pp.
- SENAMHI.** 2014. Memoria anual 2014. Dirección de Comunicación e Información. 163 pp.
- SENAMHI.** 2012. Atlas climático en la cuenca del río Urubamba: Proyecciones para el año 2030. Lima, Perú.
- Sheskin, D.** 1997. Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures. Western Connecticut State University. CRC Press.
- Smith, C & C. Campuzano.** 2000 Análisis exploratorio para la detección de cambios y tendencias en series hidrológicas: XIV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología.
- Tukey, J.** 1977. Exploratory data analysis. Addison-Wesley, Reading, Mass.
- Van der Meer, R.; F. Woldringh & K. Knuuti.** 2009. Comparación del enfoque de seguridad de diques holandés y estadounidense: Conferencia ASFPM. <http://www.fugrowaterservices.com/downloads/innovations/Mvd-MeeretalComparisonDutchandUSA.pdf>
- Vega, F.; W. Lavado & O. Felipe.** 2018. Assessing hydrological changes in a regulated river system over the last 90 years in Rimac Basin (Peru). *Theoretical and Applied Climatology*. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2084-y>.
- Vogel, R.; J. Sieber; S. Archfield; M. Smith; C. Apse & A. Huber.** 2007. Relations among storage, yield, and instream flow. *Water Resources Research*. <https://doi.org/10.1029/2006WR005226>.
- Yang, M.** 2016. Application of indicators of hydrologic alteration to ecological hydrology in trinity and Brazos River Basins. Texas University.

TABLAS Y ANEXOS

Tabla 1. Valores promedio (60 años) de los principales estadísticos de las descargas mensuales del río Moche (m³/s) con Niños, estación Quirihuac (Puente Fierro) (1950 – 2010).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	P
M	8.93	19.19	30.17	23.75	8.25	2.33	0.95	0.48	0.58	1.74	2.76	4.57	8.67
MED.	6.02	11.80	24.78	19.31	6.27	1.87	0.68	0.29	0.27	1.40	1.89	2.58	7.48
VAR.	106.97	477.79	922.15	283.50	47.79	4.20	1.10	0.26	0.63	3.27	7.22	33.70	37.32
D.E	10.34	21.86	30.37	16.84	6.91	2.05	1.05	0.51	0.79	1.81	2.69	5.81	6.11
C.V	1.16	1.14	1.01	0.71	0.84	0.88	1.10	1.06	1.36	1.04	0.97	1.27	0.70
C.A	2.83	2.70	3.86	0.96	2.00	1.48	2.07	1.99	2.43	1.70	1.42	2.93	3.00
Q1	1.73	6.17	11.02	11.27	3.86	0.89	0.35	0.18	0.12	0.28	0.79	0.87	5.11
Q2	6.02	11.80	24.78	19.31	6.27	1.87	0.68	0.29	0.27	1.40	1.89	2.58	7.48
Q3	13.02	24.30	37.96	30.37	10.50	3.23	1.02	0.57	0.68	2.51	4.08	6.55	11.87
K	12.12	9.03	21.55	0.03	4.43	1.52	3.78	3.73	5.66	3.55	2.12	11.56	14.99
MÁX.	63.56	121.15	213.07	67.23	32.75	8.74	4.55	2.35	3.46	8.65	12.26	33.98	42.59
MÍN.	0.12	0.21	1.16	2.34	0.29	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.36

Fuente: Elaboración propia. Software R.

M = Media, S= Varianza, D.E= Desviación estandar, CV= Coeficiente de variación, CA= Coeficiente de asimetría, Q1/25= Cuartil 1, Q2/50= Cuartil 2, Q3/75= Cuartil 3, K= Curtosis, Máx= Máximo, Min=Mínimo, P= Promedio.

Tabla 2. Valores promedio (60 años) de los principales estadísticos de las descargas mensuales del río Moche (m³/s) sin Niños, estación Quirihuac (Puente Fierro) (1950 – 2010).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
M	7.63	17.78	26.62	22.03	7.27	2.08	0.83	0.43	0.51	1.70	2.74	4.59	7.88
MED.	5.68	12.01	24.24	17.41	6.14	1.53	0.62	0.29	0.25	1.08	1.79	2.46	7.21
VAR.	54.03	314.90	359.82	235.30	27.83	3.00	0.84	0.21	0.55	3.32	7.33	35.17	17.22
D.E	7.35	17.75	18.97	15.34	5.28	1.73	0.92	0.46	0.73	1.82	2.71	5.93	4.15
C.V	0.96	1.00	0.71	0.70	0.73	0.83	1.10	1.06	1.43	1.07	0.99	1.29	0.53
C.A	1.26	2.12	0.94	1.08	1.83	1.55	2.54	2.38	2.93	1.78	1.44	2.89	0.67
Q1	1.68	5.96	10.37	10.95	3.77	0.88	0.34	0.17	0.12	0.27	0.71	0.86	4.82
Q2	5.68	12.01	24.24	17.41	6.14	1.53	0.62	0.29	0.25	1.08	1.79	2.46	7.21
Q3	10.61	22.85	36.70	29.17	9.76	2.49	0.93	0.53	0.51	2.48	4.06	6.75	9.75
K	1.17	5.96	0.57	0.65	4.85	2.07	6.98	6.31	8.82	3.84	2.22	11.09	0.10
MÁX.	30.30	95.27	84.52	67.23	28.23	7.41	4.55	2.35	3.46	8.65	12.26	33.98	20.16
MÍN.	0.12	0.21	1.16	2.34	0.29	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.36

Fuente: Elaboración propia. Software R.

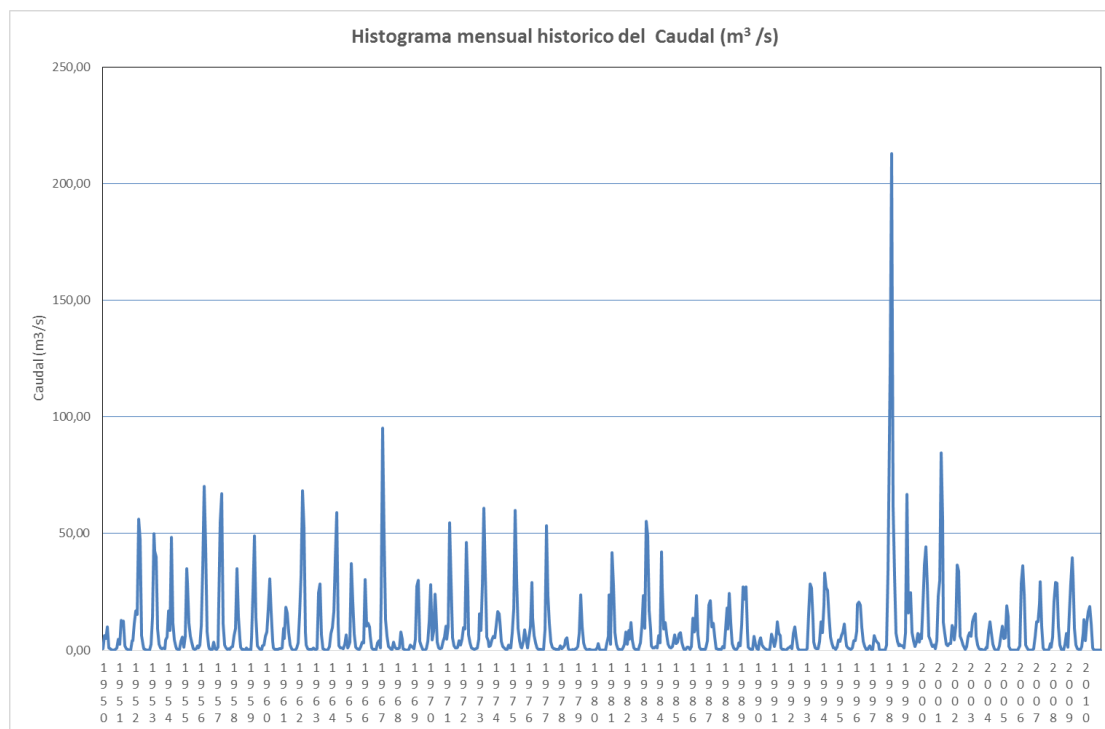
M = Media, S= Varianza, D.E= Desviación estandar, CV= Coeficiente de variación,
CA= Coeficiente de asimetría, Q1/25= Cuartil 1, Q2/50= Cuartil 2, Q3/75= Cuartil 3,
K= Curtosis, Máx= Máximo, Min=Mínimo; P= Promedio

Tabla 3. Probabilidad de ocurrencia de los caudales proyectados en relación al tiempo estación Quirihuac (Puente Fierro) (1950 – 2010).

FACTOR OCURRENCIA	$Q_{Ord.} (m^3/s)$	P	Tr (Años)
1	1.36	1	1.02
2	4.08	1	1.24
3	8.11	1	2.14
4	15.09	1	15.50
5	42.59	1	62.00

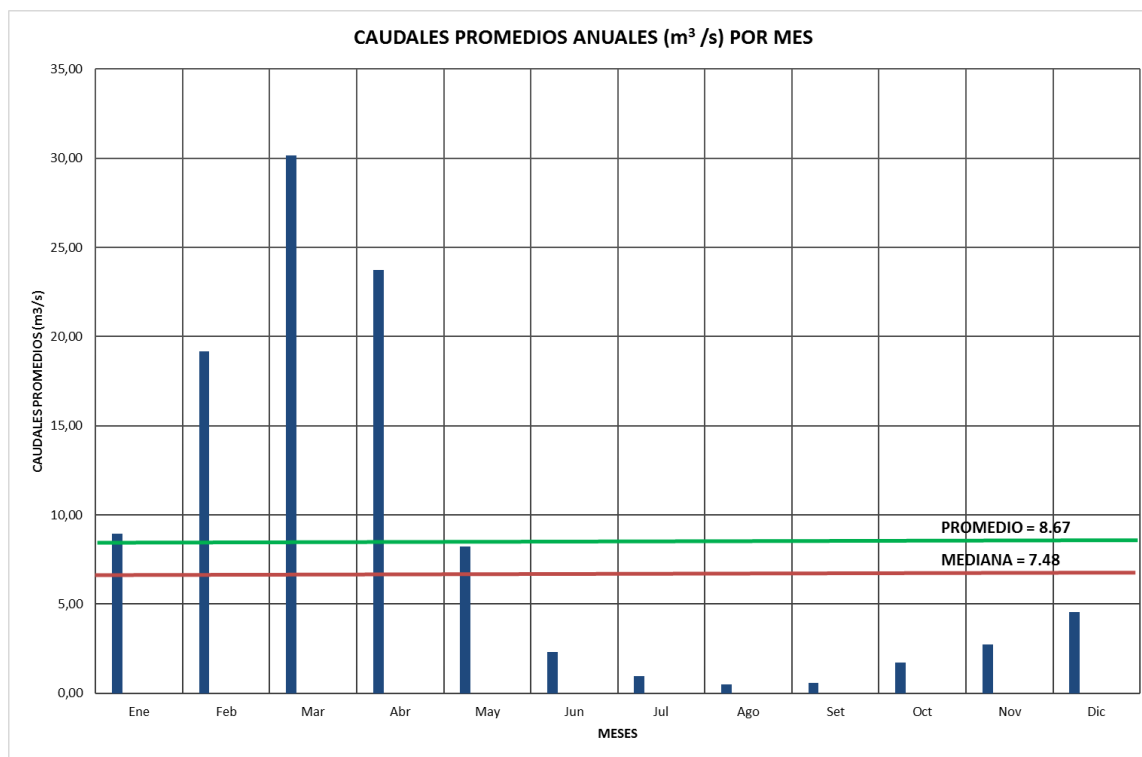
Fuente: Elaboración propia. Software R.

$Q_{Ord.}$: Caudales promedio anual de mayor a menor; P: Probabilidad de ocurrencia de caudales; Tr: Tiempo de retorno de los caudales.



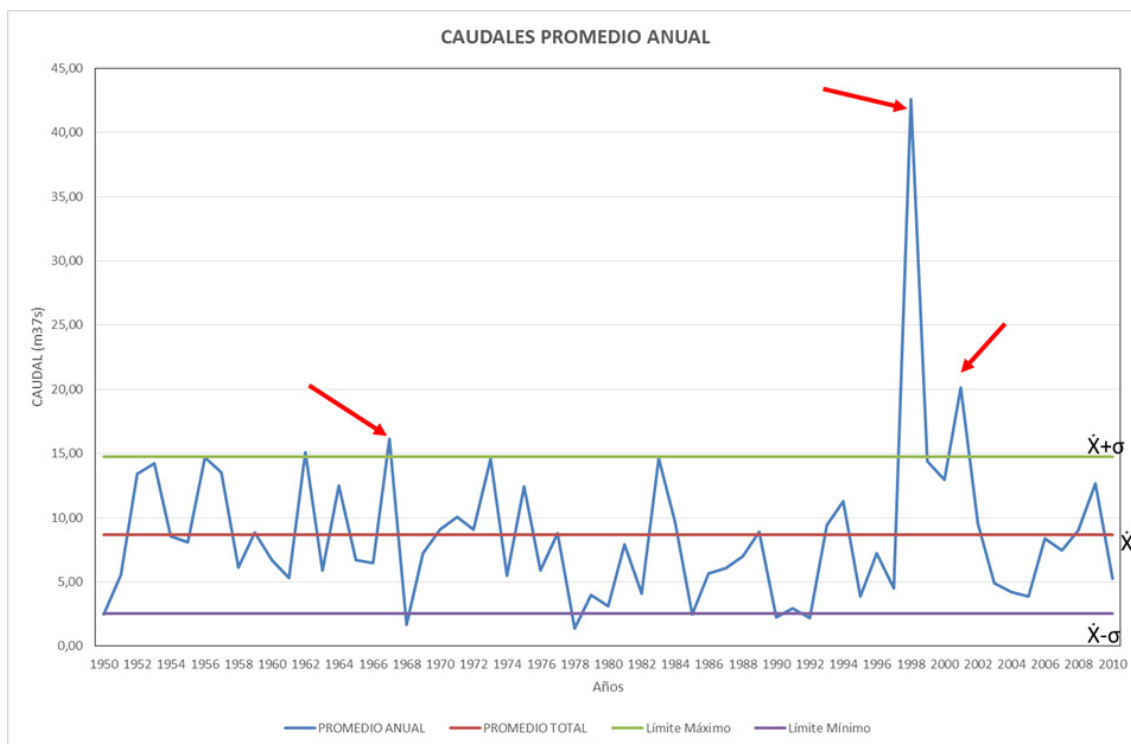
Fuente: Elaboración propia, Software R.

Fig. 1. Gráfico que representa el máximo pico del caudal ocurrida en el año 1998 llegando a un nivel de 213.07 m³/s y la mínima variación de caudal en el año 2010 con 0.01 m³/s.



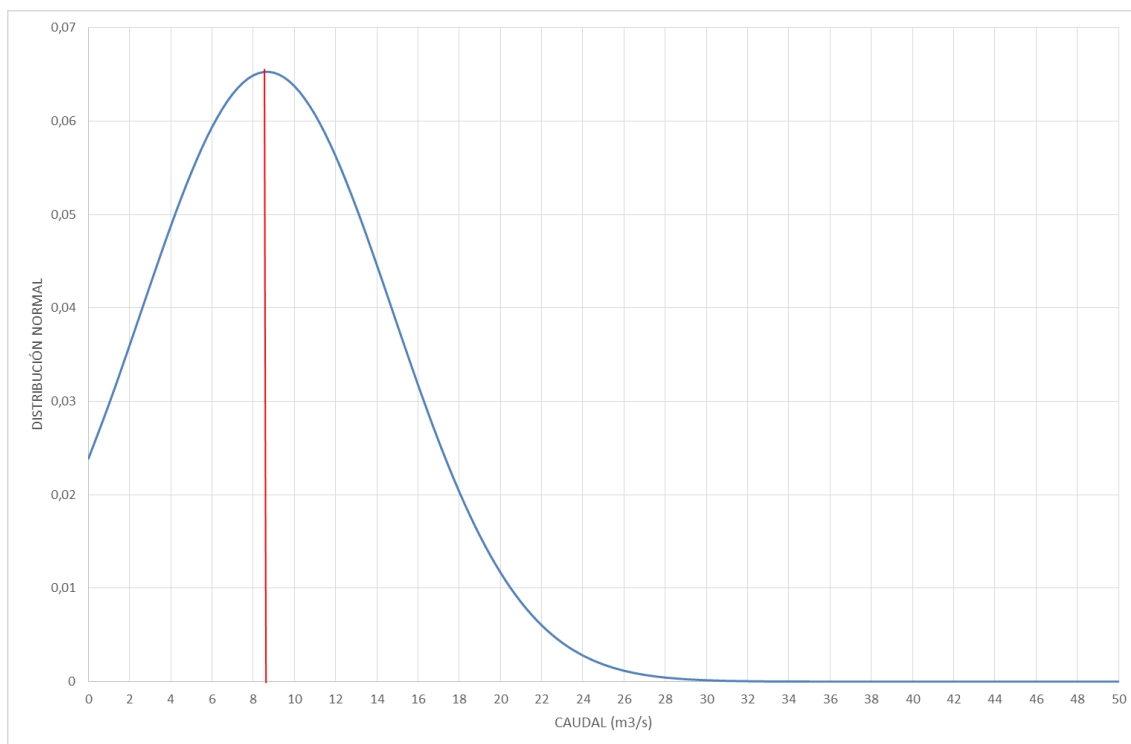
Fuente: Elaboración propia, Software R.

Fig. 2. Gráfico que explica los caudales promedio anuales (m³/s) por mes, y donde la máxima variación del caudal se da entre los meses Febrero, Marzo y Abril, y la mínima variación en el mes de agosto; esto se debe a la época de avenida, transición y estiaje.



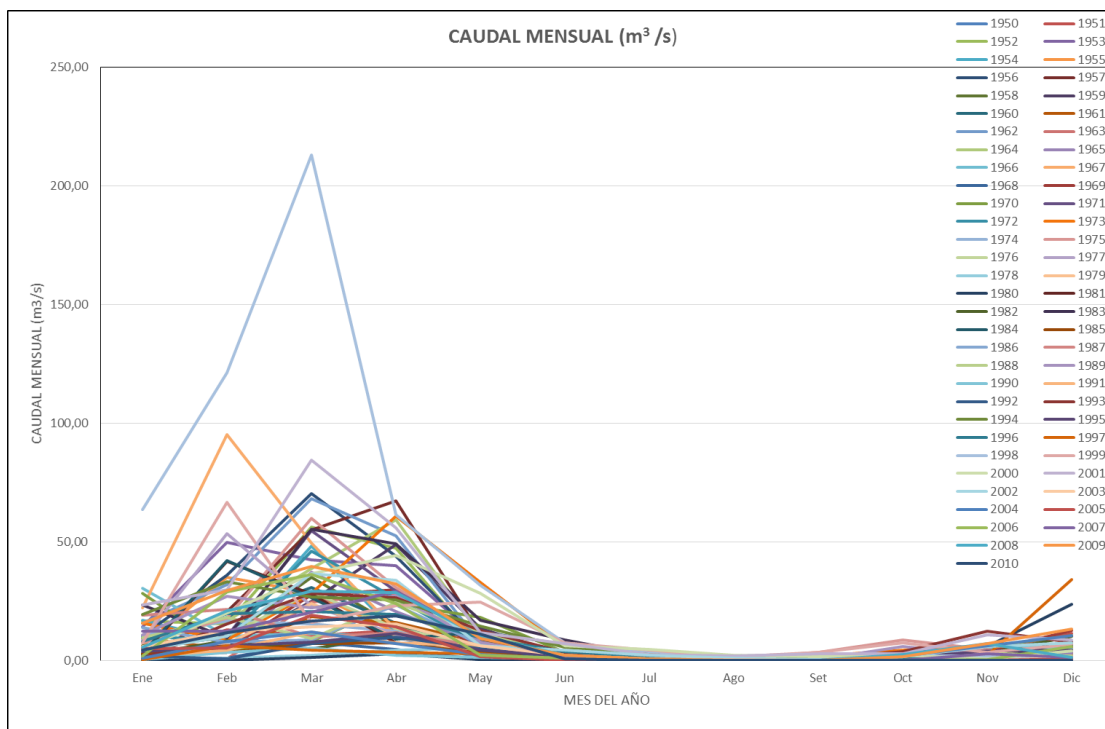
Fuente: Elaboración propia. Software R.

Fig. 3. Gráfico que muestra los caudales promedio anual, y que en los años 1967, 1998 y 2001 se llegó a superar su límite máximo de tendencia central respecto a la desviación estándar.



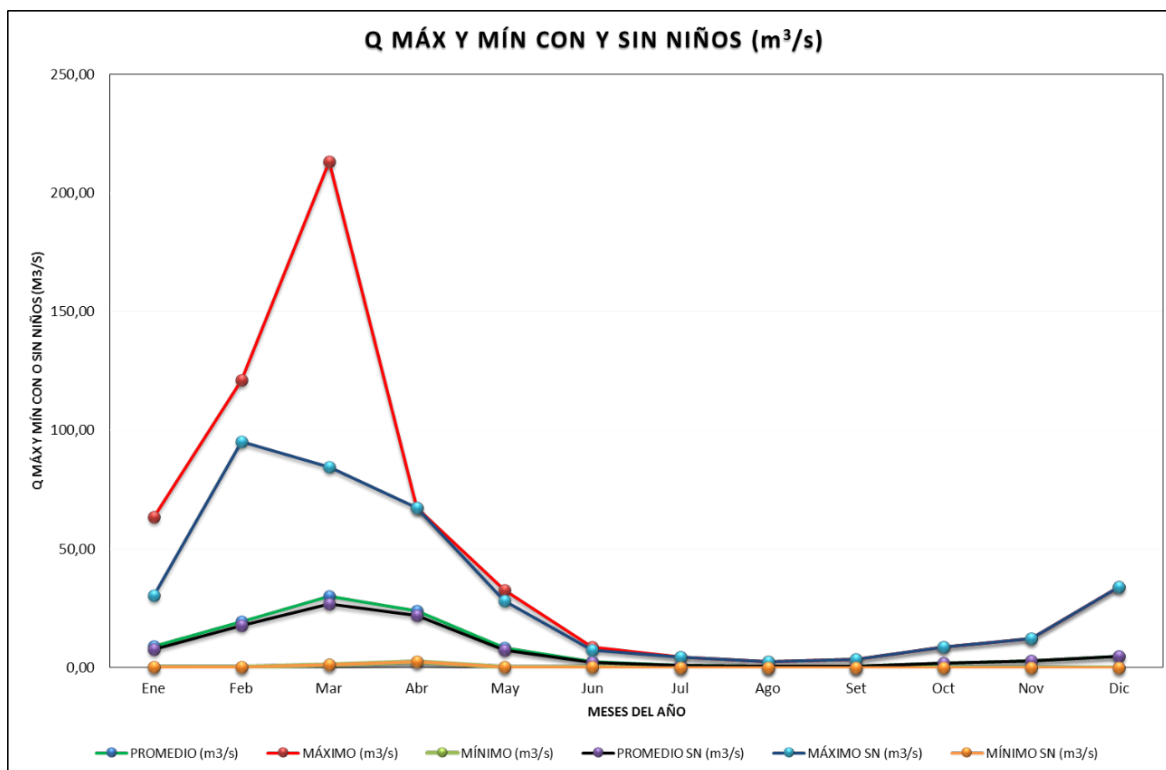
Fuente: Elaboración propia, Software R.

Fig. 4. El gráfico muestra el volumen de caudal promedio más predominante entre los años 1950 – 2010.



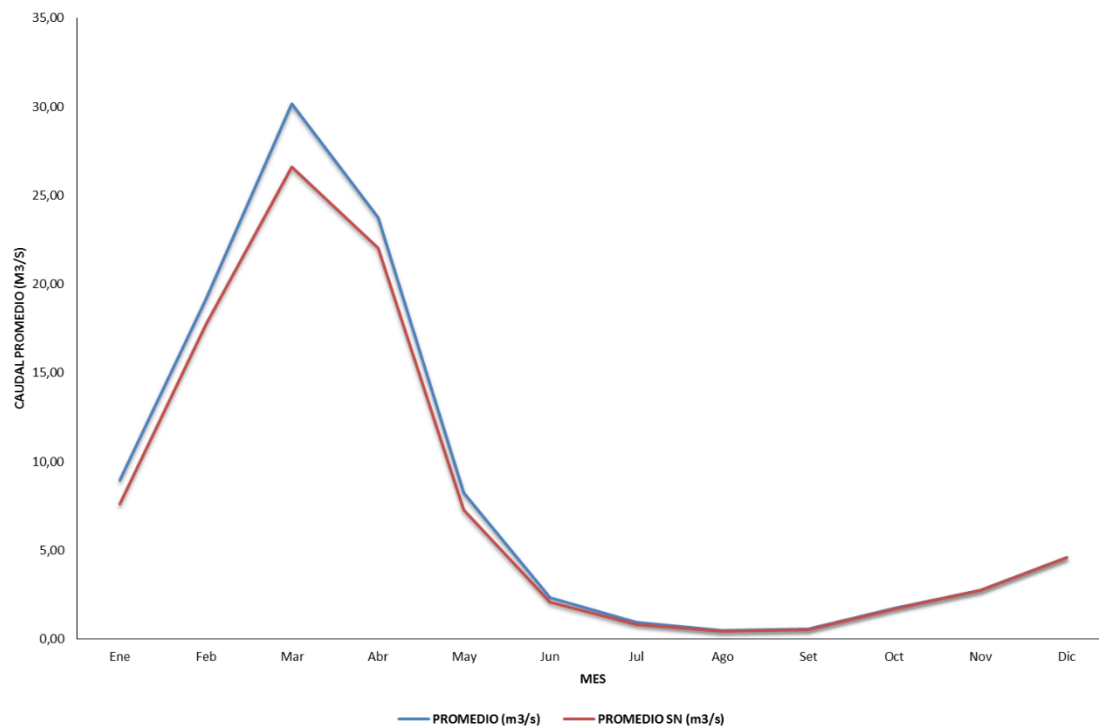
Fuente: Elaboración propia, Software R.

Fig. 5. Gráfico que muestra que en 1998 el río Moche llegó a su máximo caudal en el período 1950 - 2010, coincidiendo con la presencia del fenómeno el Niño.



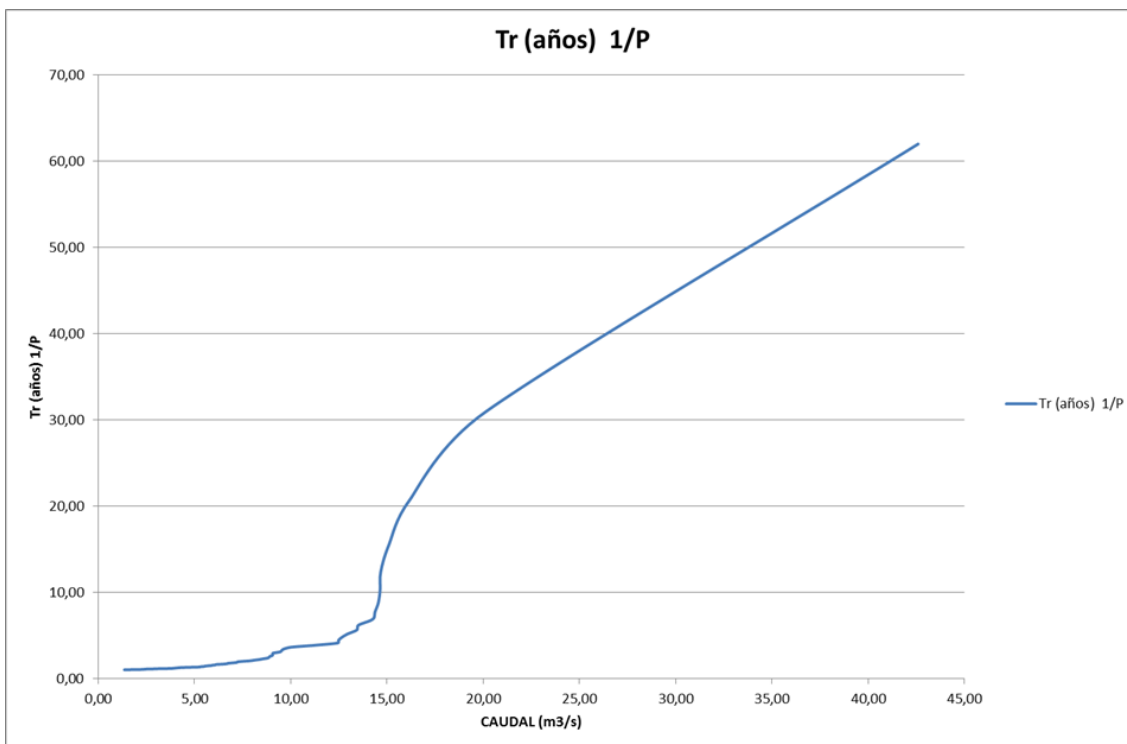
Fuente: Elaboración propia, Software R.

Fig. 6. Gráfico que muestra el caudal promedio máximo y mínimo del río Moche con Niño y sin Niño, durante el período 1950 – 2010.



Fuente: Elaboración propia, Software R.

Fig. 7. Gráfico que muestra el caudal promedio máximo y mínimo del río Moche con la presencia del Niño y sin la presencia del Niño, durante el período 1950 – 2010.



Fuente: Elaboración propia, Software R.

Fig. 8. Gráfico del análisis de persistencia que explica la probabilidad de ocurrencia de los caudales proyectados en relación al tiempo, durante un determinado tiempo de retorno de la estación Quirihuac (Puente Fierro) (1950 – 2010).

Anexo 1. Caudales promedio mensuales del río Moche (m³/s), con Niños, estación Quirihua (Puente Fierro) (1950 – 2010).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1950	0.51	6.13	4.96	10.02	1.05	0.63	0.38	0.18	0.10	0.32	0.85	4.85
1951	2.59	12.92	10.51	12.57	1.89	0.52	0.21	0.05	2.10	3.99	4.10	11.54
1952	16.78	15.30	56.10	47.39	6.18	2.25	0.69	0.25	0.10	0.15	0.04	2.58
1953	14.26	49.86	42.55	39.89	9.04	2.37	1.05	0.52	0.87	0.72	4.43	5.51
1954	16.86	8.30	48.38	11.62	4.52	1.46	0.52	0.29	0.24	3.75	5.69	1.17
1955	6.07	34.89	28.71	11.68	5.89	3.30	0.68	0.26	0.58	1.84	1.10	2.33
1956	10.50	35.86	70.17	44.08	7.95	2.05	0.68	0.36	0.30	3.43	0.51	0.19
1957	1.14	20.76	54.88	67.23	11.18	2.19	0.83	0.30	0.51	0.39	1.35	1.48
1958	6.14	9.43	35.08	14.44	4.76	1.26	0.41	0.27	0.12	0.96	0.15	0.23
1959	0.12	5.46	24.78	48.98	13.66	1.93	0.82	0.31	0.37	1.77	2.18	6.03
1960	7.73	18.06	30.75	15.83	3.91	0.90	0.33	0.22	0.48	0.76	0.66	1.11
1961	9.26	5.09	18.34	16.09	7.59	2.23	0.50	0.15	0.09	0.18	1.00	3.19
1962	15.65	31.86	68.24	52.63	7.43	2.32	0.76	0.37	0.25	0.26	1.07	0.28
1963	0.42	0.64	24.63	28.43	6.58	0.80	0.35	0.18	0.07	0.27	1.46	7.24
1964	9.82	16.55	38.83	59.12	10.80	1.89	1.02	0.84	0.68	2.58	6.69	0.86
1965	1.70	3.40	37.09	20.59	6.82	1.33	0.58	0.32	0.44	1.66	3.37	3.02
1966	30.30	10.21	11.52	9.95	5.95	0.89	0.38	0.19	0.19	3.00	3.95	0.85
1967	22.05	95.27	49.42	13.09	5.94	1.43	0.81	0.35	0.23	3.42	1.21	0.74
1968	0.69	1.11	7.76	4.80	0.51	0.24	0.13	0.11	0.24	2.16	1.58	0.82
1969	0.62	4.63	27.65	29.96	3.80	1.89	0.45	0.17	0.13	0.78	3.70	12.64
1970	28.18	4.30	7.99	24.12	18.06	3.52	0.96	0.59	0.87	3.89	5.79	10.43
1971	4.70	10.10	54.59	29.14	5.48	1.99	1.09	1.06	1.29	3.99	2.35	4.71
1972	9.78	8.99	46.13	26.05	6.49	3.19	1.01	0.59	0.35	0.62	0.91	4.82
1973	15.57	8.60	28.25	60.87	32.75	5.62	3.93	1.48	1.97	4.34	6.11	5.18
1974	10.49	16.50	15.52	12.35	3.69	1.60	0.92	0.39	0.45	2.16	0.87	1.08
1975	7.55	17.89	59.95	30.77	9.27	4.13	1.20	0.90	3.44	8.65	4.62	0.99
1976	5.64	10.19	29.05	13.61	6.27	3.26	0.85	0.44	0.38	0.20	0.16	0.38
1977	8.75	53.55	23.01	11.26	3.57	1.38	0.68	0.54	0.33	0.40	0.32	1.97
1978	0.64	1.14	2.27	4.41	5.33	0.50	0.15	0.07	0.24	0.17	0.72	0.63
1979	1.63	7.16	23.85	9.87	3.05	1.04	0.25	0.16	0.35	0.19	0.16	0.13
1980	0.18	0.21	1.16	2.69	0.29	0.10	0.07	0.06	0.03	3.04	5.96	23.82
1981	2.40	41.92	27.91	7.52	2.49	0.61	0.38	0.22	0.13	0.98	2.48	7.87
1982	2.47	8.41	4.72	11.77	4.14	0.97	0.40	0.28	0.13	2.17	3.22	10.28
1983	23.47	9.45	55.29	49.06	16.83	8.74	1.99	0.95	0.87	1.60	1.02	6.40
1984	3.04	42.12	26.59	9.02	12.03	6.71	2.54	1.27	0.93	1.74	3.13	6.69
1985	2.86	3.38	6.97	7.47	3.21	1.09	0.34	0.24	1.27	1.12	0.33	1.49
1986	13.84	7.77	8.65	23.29	6.72	1.18	0.43	0.25	0.28	0.33	1.26	4.04
1987	19.23	21.40	9.96	11.72	5.79	0.80	0.51	0.37	0.27	0.28	1.67	1.03

1988	9.46	18.21	9.21	24.39	11.76	2.83	0.88	0.29	0.19	1.42	3.21	1.87
1989	10.95	27.19	22.02	27.34	7.88	1.25	0.66	0.45	0.38	6.01	2.41	0.53
1990	0.46	3.48	5.40	2.34	1.33	0.62	0.23	0.12	0.11	1.40	6.96	4.83
1991	1.56	4.45	12.09	7.36	6.34	0.90	0.37	0.21	0.10	0.24	0.88	1.15
1992	1.85	0.57	7.10	9.93	4.96	1.04	0.16	0.09	0.06	0.10	0.13	0.05
1993	0.71	15.54	28.28	26.51	12.75	3.46	1.10	0.54	0.76	3.77	12.26	7.63
1994	19.24	33.09	26.76	25.48	14.51	5.52	2.95	1.05	0.90	0.35	1.37	4.33
1995	3.76	6.20	7.68	11.27	4.51	1.87	0.91	0.63	0.20	0.86	4.05	4.23
1996	8.05	19.81	20.73	19.31	9.64	3.78	1.45	0.41	0.23	1.03	1.91	0.26
1997	0.24	6.24	4.33	3.33	2.77	0.33	0.17	0.11	0.11	0.10	2.14	33.98
1998	63.56	121.15	213.07	61.27	31.73	7.36	3.62	2.01	2.58	2.02	1.89	0.87
1999	7.44	66.74	16.00	23.09	24.69	7.41	4.23	1.64	3.46	7.34	3.55	6.93
2000	4.90	19.98	36.44	44.39	28.23	6.07	4.55	2.35	1.67	2.21	0.56	3.94
2001	23.26	29.84	84.52	55.82	11.83	7.00	2.62	1.92	2.80	2.92	10.78	8.61
2002	4.47	10.18	36.57	33.76	6.09	4.35	2.32	0.95	0.49	1.74	5.86	7.55
2003	6.02	12.24	14.32	15.49	6.09	2.22	0.71	0.45	0.20	0.16	0.13	1.20
2004	0.86	7.95	12.16	7.22	2.59	0.61	0.10	0.07	0.06	2.02	6.22	10.43
2005	4.91	5.32	19.18	14.24	1.53	0.21	0.08	0.08	0.06	0.06	0.06	0.53
2006	1.76	28.89	36.22	23.97	2.24	0.84	0.12	0.10	0.08	0.08	0.50	5.75
2007	12.20	12.22	20.37	29.24	10.19	0.89	0.15	0.09	0.07	0.22	2.93	1.22
2008	5.71	20.96	29.19	28.73	10.10	2.29	0.49	0.20	0.12	2.44	7.14	1.21
2009	15.64	29.43	39.78	32.27	9.32	2.25	0.78	0.19	0.15	1.58	7.07	13.24
2010	4.22	11.80	16.72	18.72	11.13	0.82	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Anexo 2. Caudales promedio mensuales del río Moche (m³/s), sin Niños, estación Quirihua (Puente Fierro) (1950 – 2010).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1950	0.51	6.13	4.96	10.02	1.05	0.63	0.38	0.18	0.10	0.32	0.85	4.85
1951	2.59	12.92	10.51	12.57	1.89	0.52	0.21	0.05	2.10	3.99	4.10	11.54
1952	16.78	15.30	56.10	47.39	6.18	2.25	0.69	0.25	0.10	0.15	0.04	2.58
1953	14.26	49.86	42.55	39.89	9.04	2.37	1.05	0.52	0.87	0.72	4.43	5.51
1954	16.86	8.30	48.38	11.62	4.52	1.46	0.52	0.29	0.24	3.75	5.69	1.17
1955	6.07	34.89	28.71	11.68	5.89	3.30	0.68	0.26	0.58	1.84	1.10	2.33
1956	10.50	35.86	70.17	44.08	7.95	2.05	0.68	0.36	0.30	3.43	0.51	0.19
1957	1.14	20.76	54.88	67.23	11.18	2.19	0.83	0.30	0.51	0.39	1.35	1.48
1958	6.14	9.43	35.08	14.44	4.76	1.26	0.41	0.27	0.12	0.96	0.15	0.23
1959	0.12	5.46	24.78	48.98	13.66	1.93	0.82	0.31	0.37	1.77	2.18	6.03
1960	7.73	18.06	30.75	15.83	3.91	0.90	0.33	0.22	0.48	0.76	0.66	1.11
1961	9.26	5.09	18.34	16.09	7.59	2.23	0.50	0.15	0.09	0.18	1.00	3.19
1962	15.65	31.86	68.24	52.63	7.43	2.32	0.76	0.37	0.25	0.26	1.07	0.28
1963	0.42	0.64	24.63	28.43	6.58	0.80	0.35	0.18	0.07	0.27	1.46	7.24

1964	9.82	16.55	38.83	59.12	10.80	1.89	1.02	0.84	0.68	2.58	6.69	0.86
1965	1.70	3.40	37.09	20.59	6.82	1.33	0.58	0.32	0.44	1.66	3.37	3.02
1966	30.30	10.21	11.52	9.95	5.95	0.89	0.38	0.19	0.19	3.00	3.95	0.85
1967	22.05	95.27	49.42	13.09	5.94	1.43	0.81	0.35	0.23	3.42	1.21	0.74
1968	0.69	1.11	7.76	4.80	0.51	0.24	0.13	0.11	0.24	2.16	1.58	0.82
1969	0.62	4.63	27.65	29.96	3.80	1.89	0.45	0.17	0.13	0.78	3.70	12.64
1970	28.18	4.30	7.99	24.12	18.06	3.52	0.96	0.59	0.87	3.89	5.79	10.43
1971	4.70	10.10	54.59	29.14	5.48	1.99	1.09	1.06	1.29	3.99	2.35	4.71
1972	9.78	8.99	46.13	26.05	6.49	3.19	1.01	0.59	0.35	0.62	0.91	4.82
1973												
1974	10.49	16.50	15.52	12.35	3.69	1.60	0.92	0.39	0.45	2.16	0.87	1.08
1975	7.55	17.89	59.95	30.77	9.27	4.13	1.20	0.90	3.44	8.65	4.62	0.99
1976	5.64	10.19	29.05	13.61	6.27	3.26	0.85	0.44	0.38	0.20	0.16	0.38
1977	8.75	53.55	23.01	11.26	3.57	1.38	0.68	0.54	0.33	0.40	0.32	1.97
1978	0.64	1.14	2.27	4.41	5.33	0.50	0.15	0.07	0.24	0.17	0.72	0.63
1979	1.63	7.16	23.85	9.87	3.05	1.04	0.25	0.16	0.35	0.19	0.16	0.13
1980	0.18	0.21	1.16	2.69	0.29	0.10	0.07	0.06	0.03	3.04	5.96	23.82
1981	2.40	41.92	27.91	7.52	2.49	0.61	0.38	0.22	0.13	0.98	2.48	7.87
1982	2.47	8.41	4.72	11.77	4.14	0.97	0.40	0.28	0.13	2.17	3.22	10.28
1983												
1984	3.04	42.12	26.59	9.02	12.03	6.71	2.54	1.27	0.93	1.74	3.13	6.69
1985	2.86	3.38	6.97	7.47	3.21	1.09	0.34	0.24	1.27	1.12	0.33	1.49
1986	13.84	7.77	8.65	23.29	6.72	1.18	0.43	0.25	0.28	0.33	1.26	4.04
1987	19.23	21.40	9.96	11.72	5.79	0.80	0.51	0.37	0.27	0.28	1.67	1.03
1988	9.46	18.21	9.21	24.39	11.76	2.83	0.88	0.29	0.19	1.42	3.21	1.87
1989	10.95	27.19	22.02	27.34	7.88	1.25	0.66	0.45	0.38	6.01	2.41	0.53
1990	0.46	3.48	5.40	2.34	1.33	0.62	0.23	0.12	0.11	1.40	6.96	4.83
1991	1.56	4.45	12.09	7.36	6.34	0.90	0.37	0.21	0.10	0.24	0.88	1.15
1992	1.85	0.57	7.10	9.93	4.96	1.04	0.16	0.09	0.06	0.10	0.13	0.05
1993	0.71	15.54	28.28	26.51	12.75	3.46	1.10	0.54	0.76	3.77	12.26	7.63
1994	19.24	33.09	26.76	25.48	14.51	5.52	2.95	1.05	0.90	0.35	1.37	4.33
1995	3.76	6.20	7.68	11.27	4.51	1.87	0.91	0.63	0.20	0.86	4.05	4.23
1996	8.05	19.81	20.73	19.31	9.64	3.78	1.45	0.41	0.23	1.03	1.91	0.26
1997	0.24	6.24	4.33	3.33	2.77	0.33	0.17	0.11	0.11	0.10	2.14	33.98
1998												
1999	7.44	66.74	16.00	23.09	24.69	7.41	4.23	1.64	3.46	7.34	3.55	6.93
2000	4.90	19.98	36.44	44.39	28.23	6.07	4.55	2.35	1.67	2.21	0.56	3.94
2001	23.26	29.84	84.52	55.82	11.83	7.00	2.62	1.92	2.80	2.92	10.78	8.61
2002	4.47	10.18	36.57	33.76	6.09	4.35	2.32	0.95	0.49	1.74	5.86	7.55
2003	6.02	12.24	14.32	15.49	6.09	2.22	0.71	0.45	0.20	0.16	0.13	1.20
2004	0.86	7.95	12.16	7.22	2.59	0.61	0.10	0.07	0.06	2.02	6.22	10.43

2005	4.91	5.32	19.18	14.24	1.53	0.21	0.08	0.08	0.06	0.06	0.06	0.53
2006	1.76	28.89	36.22	23.97	2.24	0.84	0.12	0.10	0.08	0.08	0.50	5.75
2007	12.20	12.22	20.37	29.24	10.19	0.89	0.15	0.09	0.07	0.22	2.93	1.22
2008	5.71	20.96	29.19	28.73	10.10	2.29	0.49	0.20	0.12	2.44	7.14	1.21
2009	15.64	29.43	39.78	32.27	9.32	2.25	0.78	0.19	0.15	1.58	7.07	13.24
2010	4.22	11.80	16.72	18.72	11.13	0.82	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Anexo 3. Impacto de la ocurrencia del fenómeno el Niño 1982 - 1983.

El fenómeno del Niño de los años 80 fue el peor de las últimas tres décadas

<https://ojo-publico.com/404/las-cifras-historicas-del-fenomeno-del-ni%C3%B1o-en-peru>



FENÓMENO DEL NIÑO. Expresidente Fernando Belaúnde inspecciona los daños causados en el norte del Perú. / La República

Pérdidas Totales por el Fenómeno 82 – 83

Producción	US \$ 387 Millones
Infraestructura	456 Millones
Pérdidas Sociales	147 Millones
Total Pérdidas	US \$ 1,000 Millones

Daños a la Producción

SECTOR	ZONA NORTE	ZONA SUR	TOTAL
Agropecuaria	181'460,	33'540,	215'000,
Pesquería	2'532,	468,	3'000,
Industria	4'220,	780,	5'000,
Energía	1'688,	312,	2'000,
Hidrocarburos	145'168,	26'832,	172'000,
TOTAL	335'668,	61'932,	397'000,

POBLACION : Durante este periodo se registró:

512 Fallecidos
1,304 Heridos
25,100 Enfermos
587,120 personas quedaron sin hogar
En la zona Norte se registraron 831,915 damnificados y en la zona sur 435,815 teniendo una cifra total de 1,267,720 damnificados.

Anexo 4. Resumen cronológico de la ocurrencia del fenómeno el niño de 1847 al 2017.

INTENSIDAD	FRECUENCIA	AÑO/CARACTERISTICAS
DEBIL	09	1847 – 1963 Lluvias leves, algunos daños.
MODERADO	10	1911 – 1944 Lluvias moderadas, daños a la agricultura, vivienda.
INTENSO	05	1858 – 1972/1973 Lluvias intensas, secuelas de huaycos e inundaciones
MUY INTENSO	04	1891 – 1925 – 1982/1983 – 1997/1998 Lluvias torrenciales, huaycos, inundaciones, aluviones, vientos y pérdidas de vidas humanas

Fuente: http://www.indec.gov.pe/compend_estad/1997/6.1_fenom.pdf