



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“Análisis Temporal de los Años Hidrológicos de la
Cuenca del Río Santa, debido a la incidencia
del Cambio Climático.”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Villena Torres, Piero Alejandro (ORCID:0000-0002-9395-3999)

ASESOR:

Dr. Quezada Álvarez, Medardo Alberto (ORCID:0000-0002-0215-5175)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático

TRUJILLO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres, por el apoyo brindado desde el inicio de la carrera hasta ahora.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por el apoyo brindado durante toda la carrera.

A mi asesor, por el soporte y consejos brindados durante la realización de la tesis.

A mis amigas y amigos cercanos, por quienes sigo aquí a pesar de todo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA.....	13
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	13
3.2. Variables y Operacionalización	13
3.3. Población, muestra y muestreo	15
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:	19
3.5. Procedimientos.....	19
3.6. Método de análisis de datos	20
3.7. Aspectos éticos	21
IV. RESULTADOS	22
V. DISCUSIÓN.....	41
VI. CONCLUSIONES.....	47
VII. RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS	49
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estaciones Meteorológicas y sus Coordenadas Geográficas.....	16
Tabla 2: Agrupación por el método de Tukey para precipitación (confianza al 95%)	23
Tabla 3: Agrupación por el método de Tukey para temperatura (confianza al 95%)	26
Tabla 4: Cruce de agrupaciones de precipitación y temperatura	28
Tabla 5: Agrupación por método de Tukey para precipitación por épocas de año hidrológico (confianza al 95%)	30
Tabla 6: Agrupación por método de Tukey para temperatura máxima por épocas de año hidrológico (confianza al 95%)	32
Tabla 7: Agrupación por método de Tukey para temperatura promedio por épocas de año hidrológico	34
Tabla 8: Categorización de los años hidrológicos según el SPI promedio global por meses.....	36
Tabla 9: Agrupación por Método de Tukey para Índice de Sequía por Épocas de Año Hidrológico.	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico de promedio global de precipitación	22
Figura 2: Gráfico de promedios globales de temperatura	25
Figura 3: Regresión múltiple para promedio de precipitación.....	29
Figura 4: Gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey para precipitación por épocas de año hidrológico	31
Figura 5: Gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey para temperatura máxima por épocas de año hidrológico.....	33
Figura 6: Gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey para temperatura promedio por épocas de año hidrológico	35
Figura 7: Gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey para índices de sequía por épocas de año hidrológico.....	39
Figura 8: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para modelo de regresión	40

RESUMEN

El cambio climático pone en alto riesgo la gestión sostenible y disfrute de los recursos hídricos, y altera los procesos del ciclo hidrológico, intensificando las precipitaciones cuyo comportamiento se determina a través de su año hidrológico, por ello esta investigación planteó como objetivo realizar un análisis temporal de los años hidrológicos de la cuenca del Río Santa, tomando en consideración la incidencia del cambio climático. Esta investigación fue básica y de corte no experimental - longitudinal, cuyas variables fueron Año Hidrológico y Cambio Climático, con un enfoque correlacional, la población estuvo conformada por los parámetros hidrometeorológicos recopilados históricamente tanto por las estaciones meteorológicas como de manera satelital, seleccionados con un muestreo por conveniencia. Los resultados mostraron que, al tomar solo 2 indicadores, el modelo logró una exactitud de 53.56%, sin embargo, al tomar más indicadores como la época hidrológica, este aumentó a un 83.79%, y que el periodo se caracterizó por ser predominantemente "Normal". Se concluyó que, el cambio climático no tuvo una influencia determinante en los años hidrológicos de la cuenca, puesto que el indicador de años hidrológicos no representaba una tendencia clara, y se resalta la necesidad de considerar más indicadores dentro del modelo para una mayor exactitud.

Palabras Clave: Cambio Climático, Año Hidrológico, Río Santa

ABSTRACT

Climate change puts at high risk the sustainable management and enjoyment of water resources, and alters the processes of the hydrological cycle, intensifying rainfall whose behavior is determined through its hydrological year, Therefore, this research aimed to carry out a temporal analysis of the hydrological years of the Santa River basin, taking into consideration the incidence of climate change. This research was basic and not experimental - longitudinal, whose variables were Hydrological Year and Climate Change, with a correlational approach, the population was conformed by the hydrometeorological parameters historically collected both by the meteorological stations and by satellite, selected with a sampling for convenience. The results showed that, by taking only 2 indicators, the model achieved an accuracy of 53.56%, however, by taking more indicators such as the hydrological epoch, this increased to 83.79%, and that the period was characterized by being predominantly "Normal". It was concluded that climate change did not have a decisive influence on the hydrological years of the basin, as the indicator of hydrological years did not represent a clear trend, and highlights the need to consider more indicators within the model for greater accuracy.

Keywords: Climate Change, Hydrological Year, Rio Santa

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático a nivel mundial pone en alto riesgo, de manera directa e indirecta, a la gestión sostenible y el disfrute efectivo de los recursos hídricos; ya que este afecta y seguirá afectando la cantidad y calidad de agua dispuesta para cubrir las necesidades básicas humanas, así como también para las actividades industriales que nos facilitan la subsistencia, como por ejemplo la industria alimentaria, energética, de desarrollo, entre otras. Este cambio en el clima se manifiesta principalmente aumentando la magnitud y frecuencia de las olas de calor, causando intensas precipitaciones y alterando la disponibilidad estacional del agua durante el año, afectando sobre todo a zonas tropicales, donde se encuentran la mayoría de países en vía de desarrollo, debido a que estos son más vulnerables a los desastres y el cambio climático. (UNESCO, 2020, p. 1-2)

El principal contribuyente al cambio climático es el factor antropogénico, en forma de emisión de gases de efecto invernadero, principalmente el CO₂, siendo los factores más influenciados en el medio ambiente: La disminución de espesor de la capa de ozono (la cual protege a la tierra de la radiación solar ultravioleta), el nivel de pérdida de la capa de hielo ártico (cuyo derretimiento se debe al incremento de la temperatura global), el aumento del nivel del mar (influenciado por el derretimiento de las capas de hielo y los efectos del calentamiento global), aumento del número de desastres, entre otros. Cabe resaltar que la temperatura media de la tierra define su balance energético, y que, junto al estado de la misma a largo plazo, controlan el equilibrio entre la regulación energética entrante y saliente. (Koca, Bhuiyan y Mayorga, 2020, p. 196, 203-205)

La trayectoria del Cambio Climático puede caracterizarse por la tendencia estadísticamente significativa de calentamiento en todas las estaciones del año. Puesto que las temperaturas más altas representan una mayor energía potencial en la atmósfera, la cual con el tiempo hace que la retención de vapor de agua sea más corta en cuanto a tiempo, acelerando de esta manera el ciclo hidrológico. Lo que significa cambios en la distribución temporal de la precipitación, aumentando la intensidad en

eventos únicos, pero sin afectar la cantidad anual de lluvia. Es decir, el calentamiento global tiene un efecto significativo sobre el ciclo hidrológico a través de la alteración de los patrones de precipitación y los procesos de evotranspiración a múltiples escalas. (Herceg, Kalicz y Gribovszki, 2021, p. 175-176)

Actualmente el Perú presenta grandes condiciones de vulnerabilidad frente al cambio climático producto de una inadecuada gestión del riesgo y una desorganizada ocupación territorial, y que además este cambio intensificará características y alterará los periodos de eventos climáticos (MINAM, 2018, p. 7). Referente a los recursos hídricos, los cambios en los promedios del clima derivarían principalmente en dos efectos; primero, en el aumento promedio de la temperatura, lo cual implicaría un retroceso glacial que a su vez podría causar aumentos de caudales elevando la posibilidad de que estos se inunden; y segundo, en el incremento promedio de precipitación, generando en consecuencia mayor ocurrencia de lluvias intensas, causando un aumento considerable en la erosión de los suelos (MINAM, 2016, p. 154-155).

Cabe recalcar que la vulnerabilidad frente al cambio climático abarca principalmente tres dimensiones, en primer lugar, la exposición de la población frente a diversos fenómenos naturales, en segundo lugar, se considera la sensibilidad de los mismos, y finalmente la capacidad adaptativa que poseen. La primera dimensión es de carácter natural, debido a que depende de indicadores biofísicos relativos al clima, sin embargo, las otras dimensiones corresponden a indicadores sociales, es decir involucra directamente a las poblaciones, su infraestructura y gobernanza (Mussetta et al., 2017, p. 129-131).

Respecto a los recursos hídricos del país en términos de cuencas, la Cuenca Santa ocupa el segundo lugar en términos de priorización, solo precedida por la Cuenca Moche (ANA, 2016, p. 51). La parte alta de la cuenca, cuenta con nevados y glaciares que junto a las precipitaciones ayudan a la estabilidad hídrica del río Santa de manera continua, así como también al escurrimiento superficial (ANA, 2015, p. 45). Además, el año hidrológico de la cuenca tiene periodos definidos, tanto de avenida (entre enero

y abril) como de sequía (entre julio y septiembre) y de transición (los meses restantes) (Mancomunidad Municipal del Valle Fortaleza y del Santa, 2017, p.4).

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto, es importante que se haga énfasis en que el parámetro vital para la estabilidad hídrica y el escurrimiento superficial de la cuenca, es la precipitación; además, este parámetro también es un factor de riesgo debido a la alta vulnerabilidad frente a desastres que tiene el país, por lo que al conocer el comportamiento de este parámetro se podrían tomar medidas efectivas en tiempos prudentes, y disminuir así el impacto del desastre que se podría ocasionar. Así mismo, se debe considerar que el aumento o disminución de la intensidad de este parámetro depende de la tendencia de aumento de temperatura debido al cambio climático.

Es ahí donde nació la necesidad de investigar cómo es que las precipitaciones, cuyo comportamiento se determina a través de su año hidrológico, han sido afectadas por el cambio climático, y para la presente investigación se tomó el caso de la Cuenca del Río Santa, debido a que actualmente es una de las principales cuencas a priorizar en cuanto a su gestión hídrica, y que además, cuenta con diversas estaciones meteorológicas cuya data almacenada podrá brindar la información temporal necesaria para poder analizar este fenómeno de una forma más clara.

Frente a esto, se planteó el siguiente problema de investigación: ¿Cuál fue la influencia del cambio climático en los años hidrológicos de la cuenca del río Santa durante el periodo 1981-2010? Además, se consideraron los siguientes problemas específicos: ¿Cuál fue el grado de correlación entre la temperatura y la precipitación en la cuenca del río santa durante el periodo de 1981-2010?, y ¿Cuál ha sido el comportamiento de los años hidrológicos en la cuenca del río Santa en durante el periodo 1981-2010?

La presente investigación se justificó por el hecho de conocer cuál ha sido el comportamiento de las precipitaciones durante el periodo 1981-2010 y si es que la temperatura ha tenido una repercusión en esto de manera significativa a través del tiempo, ya que el comportamiento de este, afecta de manera directa la estabilidad hídrica de la cuenca. Se ha tomado en consideración la cuenca del río Santa debido a que es una de las principales cuencas a priorizar en cuanto a gestión de recursos

hídricos según ANA (2016, p. 51). Así mismo al analizar el comportamiento del año hidrológico de la cuenca del Río Santa en el tiempo, se podrán considerar medidas preventivas frente a la alta vulnerabilidad de un país en vía de desarrollo como lo es Perú (MINAM, 2018, p. 7), cara a posibles fenómenos naturales extremos.

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo principal realizar un análisis temporal de los años hidrológicos de la cuenca del Río Santa, tomando en consideración la incidencia del cambio climático; y como objetivos específicos; determinar el grado de correlación existente entre la precipitación y la temperatura en la cuenca del río Santa durante el periodo de 1981-2010, y caracterizar el comportamiento de los años hidrológicos de la cuenca del río Santa durante el mismo periodo.

II. MARCO TEÓRICO

En primer lugar, se han considerado los siguientes enfoques conceptuales que enmarcan la investigación:

Respecto al Ciclo Hidrológico, Yang, Yang y Xia (2021) lo describen como el producto de los procesos hidrológicos a todas las escalas dentro de la hidrósfera debido a interacción entre el agua, la radiación solar y la gravedad. Además, se manifiesta en acciones recíprocas entre el océano, la atmósfera, la tierra y el intercambio de agua y energía. Cabe recalcar que este vínculo de interacciones se ve profundamente afectado por las actividades humanas y el desarrollo socioeconómico. (p. 116)

En cuanto al año hidrológico, este comienza con una época de avenida y culmina con una época de estiaje durante un periodo de 12 meses (COES, 2020, p. 3). El año hidrológico de la cuenca del Río Santa tiene épocas muy definidas, su época de estiaje (o de sequía) se da entre los meses de julio y septiembre, mientras que su época de avenida se da entre los meses de enero y abril. El resto de meses restantes se los considera como meses de transición (Mancomunidad Municipal del Valle Fortaleza y del Santa, 2017, p.4).

Referente a los conceptos de las épocas estacionales del año hidrológico: La época de estiaje hace referencia al periodo de tiempo en el que se puede registrar un descenso crítico de precipitaciones, lo cual da lugar que los caudales naturales se reduzcan. Mientras que la época de avenida hace referencia al periodo de tiempo en el que, de manera cíclica y con regularidad, se logran producir las precipitaciones. En el Perú el periodo de estiaje comienza el primero de junio y termina el treinta de noviembre, mientras que el periodo de avenida comienza el primero de diciembre y termina el treinta y uno de mayo del siguiente año (COES, 2020, p. 16).

Respecto a las precipitaciones, Sui, Li y Yang (2007, p. 4506) las define como un producto de los procesos microfísicos de las nubes, cuya ocurrencia está asociada a las dinámicas ambientales y termodinámicas de los eventos meteorológicos y climáticos. Es decir, la precipitación proviene de los procesos como la condensación o

sublimación del vapor de agua que por acción de gravedad caen desde las nubes ya sea en forma líquida o sólida. Su medición está a cargo de las estaciones meteorológicas, estas son instalaciones equipadas con sensores que permiten obtener data meteorológica registrándola de manera instantánea y almacenándola continuamente en el tiempo, todo esto realizándolo de forma inalámbrica (López, 2016, p. 116).

Por otro lado, tenemos al cambio climático, el cual es considerado como un cambio en el estado del clima que permanece durante largos periodos de tiempo. Este puede identificarse por las variaciones de sus propiedades, lo cual está atribuido generalmente a procesos internos, como las actividades humanas, o a procesos forzados externos, como los fenómenos naturales (IPCC, 2018, p. 75), cuyos efectos incluyen principalmente el aumento global de las temperaturas, incremento en la intensidad de las precipitaciones y frecuencia en sus eventos, aumento global del nivel del mar y riesgos severos en los sistemas naturales y humanos (Honkonen, 2017, p. 2)

Es preciso recalcar que la relación entre el cambio climático y los procesos hidrológicos es completamente directa, debido a que el aumento de temperatura es el que acelera procesos como la evapotranspiración y precipitación. A su vez, este último proceso es quien controla los efectos del cambio climático en el caudal de las cuencas, niveles de lagos y la recarga de agua subterránea. Es por esto que tanto la temperatura como la precipitación y los cambios en ambos, representan las principales características del cambio climático. (Kundzewickz, 2008, p. 197)

Respecto a la hidrología en la Cuenca del Río Santa, esta se distribuye espacialmente en dos sectores dependiendo de su altura: Desde el nivel del mar hasta los 1800 msnm, se le considera como cuenca seca debido a que la precipitación es menor a 250 mm, sin embargo, desde esa altura hasta los 4200 msnm, este promedio de precipitación puede aumentar hasta 1200 mm, denominándose cuenca húmeda. Su clima varía dependiendo de su altura y la estación del año. Esta cuenca además de satisfacer a las poblaciones aledañas, sirve de abastecimiento principal para el

Proyecto Especial Chavimochic, quienes tratan y distribuyen el agua beneficiando hasta a 1200000 de habitantes. Además, del uso poblacional, sus principales usos también son de carácter agrario, industrial, minero y energético (SEDALIB, 2018 p. 7-17).

A continuación, se describen los antecedentes que corresponden a este trabajo de investigación:

Escobar et al. (2012), analizaron la relación de la lluvia con los fenómenos del cambio climático, para esto recopilaron información histórica de precipitación de reportes hidroclimatológicos, obteniendo data histórica de 35 años, en una sola estación meteorológica. Luego de obtener promedios anuales en base a esta data histórica, procedieron a describir el comportamiento de la media histórica, solo considerando precipitaciones que superaban los 5mm, acto seguido tras una serie de medidas de comparación, pudieron determinar el inicio y el fin de las épocas de lluvia en el año, así como su intensidad y si superaban la media histórica. El estudio concluyó en que los evidentes cambios en el régimen de las precipitaciones se podían asociar con el cambio climático (p. 76,84).

Andrade y Medrano (2021) examinaron el comportamiento de los patrones de precipitación de la Región Sur Sur-Este de México, tomando en cuenta datos históricos del periodo 1960-2016, y haciendo proyecciones para un futuro cercano (periodo 2015-2039) y un futuro lejano (periodo 2075-2099), para de esta manera analizar los posibles escenarios del cambio climático y el impacto de este en la disponibilidad hídrica de la zona, esto a través del uso del Índice Estandarizado de Precipitación. Concluyeron que, en un futuro cercano, los eventos húmedos y secos tendrán un aumento en su ocurrencia, sobre todo en las cuencas de Grijalva y Usumacinta. Además, hicieron mención a que el cambio climático no es lo único que causará alteraciones en los recursos hídricos, sino también los propios factores estresantes de la zona. Finalmente recalcan la importancia de la capacidad de adaptación multinivel en las decisiones para el diseño de políticas públicas (p. 70, 81)

Folton et al. (2019) realizaron un análisis de tendencias y procesos hidrológicos en la cuenca del Río Réal Collobrier (Francia), buscaban aprovechar los más de 50 años de data histórica recopilada por la densa red de pluviómetros disponibles a lo largo del río, el cual ha tenido escasa actividad humana históricamente y presenta un clima cálido, seco y con intensos eventos de precipitación en sus veranos. El análisis realizado utilizó varios índices climáticos que describen distintos modos de variabilidad en escalas de tiempo interanual y estacional, además, también utilizó índices hidrológicos que describen eventos basados en datos diarios para describir tiempos y severidad de caudales bajos. Los resultados indicaron una marcada tendencia hacia una disminución de recursos hídricos en la cuenca del río, esto respuesta a las altas tendencias climáticas, mostrando un aumento constante en la severidad y duración de las sequías. (p. 2699)

Marzouk (2021), realizó una serie de métodos de análisis estadísticos sobre los datos históricos de la temperatura del aire a 2 metros sobre el suelo, teniendo como base de datos al programa POWER de la NASA. El estudio se realizó teniendo como punto de análisis a la Universidad de Buraimi, abarcando un periodo de 39 años, desde 1981 hasta 2019. Estos métodos de análisis estadístico incluyeron regresión lineal simple, prueba F de significancia entre otros. Los resultados mostraron que la temperatura del aire local está aumentando a un ritmo aproximado de 0.039 °C por año. Además, en el estudio también se compararon datos de humedad y precipitación del programa POWER con los registrados por la estación meteorológica de Manah, concluyendo que para humedad existe una leve inexactitud pero que para precipitación los datos brindados por POWER son poco fiables, dando valores exagerados (p. 1-18).

Murray et al. (2017) estudiaron la variación del rango estacional de precipitación en las últimas décadas a escala mundial (250 cuencas), tomando como estaciones secas a aquellas cuya precipitación registrada mensualmente sea menor a 100 mm, y a las estaciones húmedas, aquellas que superaban los 100 mm, en un periodo de 60 años (1950-2009). Encontraron que, si bien no hubo cambios significantes en la precipitación de la estación húmeda, sí hubo aumentos constantes en la precipitación de la estación seca, volviéndose así ligeramente más húmeda, pero sin presentar

cambios en su duración. Finalmente hallaron una alta correlación ($r=0.62$) entre el cambio de la precipitación de la estación seca con la producción primaria neta vegetal modelada, a diferencia de lo encontrado con la precipitación de la estación húmeda ($r=0.04$). Cabe recalcar que los resultados del estudio deben interpretarse con cuidado, por la magnitud que abarcó el mismo. (p. 1-2, 5-8)

Dunning, Black y Allan (2018), analizaron los cambios de las características de la estación húmeda en África a escala continental a través de proyecciones climáticas RCP4.5 y RCP8.5 (Representative Concentration Pathway) en conjunto con modelos CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project) tomando en cuenta una data histórica desde 1950 y proyectándola hasta 2090. En su estudio encontraron un patrón de aumento en la intensidad de sus lluvias, sobre todo con una precipitación promedio más alta por día de lluvia en las regiones de África Central, África Meridional y África Occidental. Además, también hallaron que para el sur de África se prevé un cambio en el inicio de la temporada húmeda, empezando más tarde y siendo más corta. Asimismo, hacen mención a la vulnerabilidad del continente frente a los efectos del cambio climático, y la importancia de que el aumento en la intensidad de lluvias, su disminución de frecuencia, las implicancias para los cultivos y los rendimientos de sus suministros de agua superficial sean considerados en sus estrategias de adaptación (p. 9719-9722, 9734-9735).

Al-Kilani et al. (2021), evaluaron las estimaciones de precipitación obtenidas por teledetección del proyecto POWER de la NASA para la detección de sequías en Jordania, enfocándose en detectar eventos de sequía y evaluar su intensidad a través del uso del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) comparando datos recopilados de la base de datos del programa POWER de la NASA así como de sus estaciones meteorológicas ubicadas en diferentes lugares áridos y semiáridos. Los resultados mostraron que si bien existe correlaciones significativas entre ambos datos en cuanto a la detección de sequías extremas; la fuente de datos evaluadas no resultó ser muy eficiente en la detección de la categoría SPI correcta, mostrando un desempeño muy pobre en la detección de condiciones extremadamente húmedas (p. 1, 10-11).

Delgado et al. (2017), buscaron mostrar la importancia de la calidad de las locaciones geográficas de las estaciones meteorológicas en el estado de México y comparar su data con la brindada por programas satelitales. En su estudio mencionan que existen 3 errores en las bases de datos espaciales: la posición y atributos de los objetos, así como sus variaciones espaciales, estos errores terminan causando inexactitudes e imprecisiones. Concluyeron en que los errores presentes en la geoposición de las estaciones meteorológicas de cada fuente de información traen consigo grandes diferencias al aplicar procesos de análisis hidrológicos, presentando inconsistencias significativas, así como enfatizaron en la prioridad de los datos de estaciones meteorológicas por sobre los satelitales para ciertos parámetros (p. 287-289).

Zhang et al. (2016), analizaron las variaciones estacionales-interanuales de las precipitaciones sobre el Continente Marítimo (CM), así como también su predictibilidad, y sus relaciones con el fenómeno del Niño-Oscilación Sur (ENOS), a gran escala, a través del Sistema de Pronóstico de Clima de los Centros Nacionales de Predicción Ambiental de EE. UU. (CFSv2). El sistema mostró una gran habilidad en la predicción de las principales características de las variaciones de lluvia del CM y su relación con ENOS, y concluyeron que la precipitación sobre el CM se caracteriza por una estación húmeda (de diciembre a marzo) y una estación seca (de julio a octubre), con una notable variabilidad interanual entre cada estación. Además, cuando eliminan la señal del ENOS, la magnitud de las lluvias se vuelve mucho menor, indicando que estas variaciones también son moduladas por otros factores. La precisión de predicción disminuye en épocas húmedas (p. 3675, 3690-3693).

Tao et al. (2021), examinaron la variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones en las estaciones secas (octubre-marzo) y las estaciones húmedas (abril-septiembre) en el este de China, recopilando datos históricos brindados por la Unidad de Investigación Climática de la Universidad de East Anglia desde 1901 hasta 2016, pretendiendo así analizarlos para identificar los modos de variabilidad dominantes adoptando un modelo lineal dinámico bayesiano y de esta manera poder cuantificar las correlaciones variables en el tiempo entre los modos de las precipitaciones en

estaciones secas y húmedas y la variabilidad climática. Determinan que las variaciones coinciden con la aparición del fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENOS), el cual ejerció un efecto de debilitamiento gradual sobre las precipitaciones en el este de China en el periodo estudiado y que además las variaciones en las precipitaciones están sustancialmente moduladas a factores originados en el océano Pacífico (p. 1467-1469, 1476-1478).

Biscaro et al. (2021), a través del análisis de datos de precipitación recopilados durante casi 2 años (enero 2014 – noviembre 2015), recogidos por el Campo de Observaciones y Modelización del Océano Verde Amazónico (GoAmazon), ofrecieron una presentación alternativa sobre cómo la precipitación diurna es modulada por los eventos convectivos sucedidos durante el periodo nocturno anterior, evaluando las propiedades atmosféricas durante estos periodos que preceden a los eventos de lluvia y no lluvia en la Amazonía Central. Al realizar la comparación entre estaciones húmedas y secas, encontraron que sus resultados sugieren que la precipitación diurna en la estación húmeda está modulada por la cobertura nubosa nocturna y por influencias locales como la turbulencia local inducida por el calentamiento, mientras que los eventos de lluvia en la estación seca son controlados por las circulaciones a gran escala. Finalmente hicieron mención a la importancia de no utilizar integraciones locales en estaciones secas, debido a que los resultados podrían ser escasos. (p. 6735-6736, 6748-6750)

Contractor, Donat y Alexander (2021) evaluaron los cambios en la precipitación diaria observada sobre áreas terrestres a nivel global, recopilando data histórica diaria entre 1950-2016, así como también analizaron las tendencias totales anuales y estacionales. A este conjunto de datos interpolados de precipitación se le nombró Rainfall Estimates on a Gridded Network (REGEN). El estudio aplicó el método de Thiel-Sen y el método de Mann-Kendall para realizar las tendencias. Se pudo observar que las precipitaciones se han intensificado en la mayoría de áreas terrestres a nivel mundial a lo largo de la distribución de los días húmedos, es decir ha habido un aumento de intensidad y frecuencia de días húmedos, sobretodo en Asia y Estados Unidos, por el

contrario en regiones como Australia, el sur de Europa, África o el surestes de América del Sur, la frecuencia anual muestra disminuciones (p. 1-6, 15)

Li et al. (2019), buscaron identificar el impacto del cambio climático podría tener en los patrones de precipitación en Houston, Texas, por medio de proyecciones de precipitación de 36 modelos de circulación general reducidos a dos escenarios ruta de concentración representativa (RCP2.6 y RCP8.5) permitiendo examinar los cambios en la proyección futura de las precipitaciones para la cuenca Clear Creek hacia el año 2099, teniendo un periodo de datos de precipitaciones entre 1950-1999. Estas tendencias proyectadas se evaluaron bajo el método de Mann-Kendall. El estudio reveló que en el escenario de RCP8.5, la precipitación media disminuirá, pero en RCP2.6 podría permanecer relativamente constante, y que, además, en ambos casos, es probable que tanto la intensidad como la variabilidad de las precipitaciones aumenten, así como también, los periodos secos se alargarán significativamente. Cabe mencionar que la combinación de área de expansión urbana, terreno bajo y proximidad al Golfo de México, hacen a la zona altamente vulnerable a eventos de lluvias extremas y a inundaciones. Resuelven que, debido a esto, el cambio climático tendrá impactos sustanciales en la cuenca Clear Creek (p. 1, 3, 11-13).

Xie et al. (2019) realizaron una investigación para conocer qué tan importante es la memoria climática (data histórica de 150 estaciones con periodo 1961-2010) a largo plazo en las predicciones de temperatura y precipitación en China, para lo cual usaron un modelo estadístico fraccionario integral (FISM) para cuantificar las memorias climáticas de diferentes variables sobre China, encontrando diferentes efectos para las diferentes regiones. Mencionan que la contribución de la memoria climática a la variabilidad climática es más notable en la temperatura (3%-4%) que en la precipitación (0.6%). Sin embargo, recalcan que, a nivel de regiones, estos efectos de memoria climática son mayores, mientras que la precipitación puede contribuir con el 3% de la variación climática en el sureste de China, la temperatura puede contribuir con un 10% de la varianza en el oeste. Sugieren que, para una predicción más precisa, se determine primero la contribución de la memoria climática y así tener mejores pronósticos (p.459-460, 465)

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El trabajo de investigación desarrollado fue de tipo básica. Este tipo de investigación busca obtener conocimiento para luego realizar, en primera instancia, una descripción de fenómenos, para después poder explicarla y posteriormente pronosticarla (Sánchez, Reyes y Mejía, 2017, p 28).

El diseño de la investigación fue no experimental - longitudinal de evolución de grupo. La investigación no experimental busca analizar variables que no son posibles de manipular, influir ni controlar; donde las inferencias son realizadas sin intervención directa y cuyos efectos ya tuvieron sucesos dentro de su contexto natural (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018, p. 174-175). Así mismo, los diseños longitudinales pretenden realizar inferencias sobre la evolución de fenómenos, sus causas y efectos, a través de la recopilación de datos en distintos periodos de tiempo. Cuando son diseños de clase de evolución de grupo, se estudian grupos diferentes que están vinculados a una peculiaridad similar (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018, p. 180).

3.2. Variables y Operacionalización

Una variable es aquella característica que puede cambiar o modificarse frente a diversos procesos, esta misma puede ser medida de maneras distintas y puede adoptar diferentes valores. Mientras que, su operacionalización hace referencia a la precisión de los aspectos que se buscan cuantificar, y de esta manera poder conceptualizarlos con claridad y poder llegar a ciertas deducciones (Espinoza, 2019, p. 173-175).

El trabajo de investigación tuvo un alcance correlacional, puesto que se pretendió conocer el grado de asociación entre las presentes variables dentro de un mismo contexto (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018, p. 109-110).

Estas variables fueron “Año Hidrológico” y “Cambio Climático”, y el contexto estudiado fue “La Cuenca del Río Santa”.

3.2.1. Año Hidrológico

- a) Definición Conceptual:** El año hidrológico se define como: "Periodo de un año que se inicia con un periodo de avenida y culmina con un periodo de estiaje" (COEN, 2020, p. 2).
- b) Definición Operacional:** El año hidrológico se midió a través de los periodos de estiaje y avenida, y se analizó a través de indicadores e índices estadísticos estimados a partir de datos provenientes de la red de estaciones meteorológicas e hidrológicas pertinente (SENAMHI, 2020, p. 2). Para este estudio se tomó en cuenta lo hallado en la base de datos del Sub Sistema Oficial de Información de Agua – SOFIA, siendo este el sitio web donde se organiza el contenido de los estudios y planes de gestión de recursos hídricos elaborados por la ANA (ANA, 2021).
- c) Indicadores:**
- Época de Estiaje (comprendido en la dimensión “Épocas Estacionales Hidrológicas”)
 - Época de Avenida (comprendido en la dimensión “Épocas Estacionales Hidrológicas”)
 - Precipitación (mm) (comprendido en la dimensión “Condiciones Pluviométricas”)
- d) Escala de Medición:** Intervalo. Se considera a una escala de intervalo cuando la escala, además de ser ordinal, tiene una distancia equivalente entre dos números consecutivos. Así mismo, la escala de intervalo suele ser utilizada para operaciones estadísticas tales como la media, la desviación estándar y la correlación (Hernández et al., 2018, p.107-108).

3.2.2. Cambio Climático

a) **Definición Conceptual:** El cambio climático se define como un cambio durante un periodo prolongado en las medidas y/o la variabilidad de las propiedades del clima, esto debido a diversos factores (IPCC, 2018, p. 75).

b) **Definición Operacional:** El efecto del cambio climático se midió a través de la variación de la temperatura en un periodo no menor a 30 años (Nota técnica N° 001-2019/SENAMHI/DMA, 2020, p. 14).

Para este estudio se tomó en cuenta lo hallado en la base de datos del sitio web POWER-NASA, siendo este el portal web que contiene parámetros relacionados con la meteorología y la energía solar formulados para evaluar y diseñar sistemas de energía renovable, brindado por la NASA vía satelital (NASA, 2021).

c) **Indicadores:**

- Tiempo (años) (comprendido en la dimensión “Periodos de Tiempo”)
- Temperatura (°C) (comprendido en la dimensión “Tendencias Climáticas”)

d) **Escala de Medición:** Razón. Esta escala de medición se considera la más completa puesto que se presta para poder realizar diversos tipos de operaciones lógicas (Orlandoni, 2010, p. 246).

3.3. Población, muestra y muestreo

a) Población: La población se entiende como un conjunto de elementos cuyas características se pretenden estudiar (Ventura, 2017, párr. 3). Para el caso de la presente investigación se tomó como población a los parámetros hidrometeorológicos recopilados históricamente por las estaciones meteorológicas de la ANA, tomadas del sitio web SOFIA, ubicadas en la cuenca

del Río Santa, así como también los datos satelitales recopilados por el programa POWER de la NASA, utilizando las coordenadas brindadas por las estaciones meteorológicas.

- Criterios de Inclusión: Se han incluido las estaciones cuyos datos históricos recopilados hayan sido únicamente constantes en el tiempo, es decir, la data en años recopilada no debió haber dejado espacios vacíos significantes. A través de este criterio se buscó obtener información homogénea que facilite los análisis estadísticos y pronósticos.
- Criterios de Exclusión: Se han excluido las estaciones cuyos datos meteorológicos hayan presentado carencias significativas en el registro histórico, es decir, data cuyos espacios vacíos representen periodos de tiempo superiores a un mes.

b) Muestra: Se comprende a la muestra como un subconjunto de la población, el cual se va a investigar; además esta muestra simboliza una parte representativa de la población (López, 2004, p. 69). Para el presente trabajo se tomó como muestra a los parámetros: Precipitación, recopilados históricamente por las estaciones meteorológicas del ANA, tomadas del sitio web SOFIA, ubicadas en la cuenca del Río Santa y de Temperatura, tomadas del portal web POWER-NASA:

Tabla 1: *Estaciones Meteorológicas y sus Coordenadas Geográficas*

Cod_EM	Estaciones	Latitud	Longitud	Cota (msnm)
1	Ajia	-9.7814	-77.607	3440
2	Anta	-9.3472	-77.5991	2748
3	Cabana	-8.3836	-78.0123	3160
4	Cachidan	-8.1017	-78.1525	2890
5	Cahuish	-9.6833	-77.25	4550
6	Chancos	-9.3167	-77.5667	3244
7	Chiquian	-10.15	-77.15	3382

8	Conchucos	-8.2667	-77.85	3200
9	Cotaparaco	-9.9833	-77.5833	3170
10	Huangacocha	-7.9167	-78.1333	3953
11	Huangamarca	-8.1215	-78.293	3780
12	Julcán	-8.05	-78.5	3460
13	Laguna Ututo	-9.6833	-77.5	4059
14	Llanganuco	-9.0833	-77.65	3800
15	Milpo	-9.8833	-77.2333	4400
16	Mollepata	-8.1916	-77.9542	2580
17	Pachacoto	-9.85	-77.4	3810
18	Parón	-9	-77.6833	4195
19	Pira	-9.5832	-77.707	3570
20	Pomabamba	-8.7833	-77.4667	3605
21	Querococha	-9.7167	-77.3333	4200
22	Quiruvilca	-8.0042	-78.3077	3980
23	Recuay	-9.7292	-77.4537	3444
24	Sant. Antúnez	-9.5165	-77.5249	3079
25	Sant. de Chuco	-8.1333	-78.1667	2900
26	Shacaypampa	-9.7667	-77.3833	3762
27	Yanacocha	-10.0333	-77.2167	4400

Esto de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión anteriormente mencionados.

Además, el tamaño de la muestra estuvo comprendido por un periodo de tiempo consecutivo igual o superior a 30 años, esto debido a lo establecido por la Nota Técnica N°001-2019-SENAMHI-DMA (p. 4).

Para el establecimiento del periodo de 1981-2010 se tomó en cuenta la homogeneidad de los datos encontrados en el portal web SOFIA, así como la fecha máxima recopilada por las estaciones, que fue hasta el 2010, esto según lo hallado en el portal web del ANA revisado hasta octubre de 2021. También se revisaron otras páginas web institucionales que contenían datos más actuales como lo son SENAMHI y SNIRH, sin embargo, por parte del SENAMHI, los datos registrados datan solo desde el 2017 (Senamhi, 2021), y por parte del

SNIRH, los datos carecen de homogeneidad de manera significativa (Snirh, 2021), como se puede apreciar en los Anexos 3 y 4 respectivamente.

Así mismo, este periodo concordó con los datos de Temperatura brindados por el portal web POWER de la NASA. Puesto que lo que se busca es hallar la correlación, se ha visto conveniente la utilización de este periodo de tiempo.

Por otro lado, se tomaron los datos registrados en el portal web SOFIA, por ser parte de la página web gubernamental de la Autoridad Nacional del Agua.

Si bien las estaciones meteorológicas registradas en este portal también brindan datos de temperatura, estos fueron inconsistentes y en muchas de las estaciones, inexistentes, como se puede apreciar en el Anexo 5 (ANA, 2021).

Por lo que se vio la necesidad de tomar datos de este parámetro del portal web POWER de la NASA, el cuál registra los datos de manera satelital a nivel mundial, y si bien este portal también brinda datos de precipitación, estos suelen ser poco fiables (Marzouk, 2021, p. 1) y debido a que son satelitales y existen datos de estaciones meteorológicas locales, estas últimas tendrían la prioridad para realizar los análisis hidrológicos (Delgado, 2017, p. 290).

- c) Muestreo: El muestreo se realizará a través de la técnica no probabilística – por conveniencia, para la cual se tomaron criterios específicos para la elección de las muestras y también se toma en cuenta su conveniente accesibilidad (Otzen y Manterola, 2017, p. 230). En la presente investigación se buscó utilizar los datos referentes a Precipitación (mm) y Temperatura (°C), recopilados tanto por las estaciones consideradas anteriormente como también satelitalmente, tomando en cuenta los criterios establecidos y su conveniencia en cuanto a accesibilidad de data.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

Las técnicas para la recopilación de información bibliográfica fueron la revisión documental, donde se buscará obtener artículos, trabajos de investigación, normativas, entre otros documentos, referentes al tema; y la observación, con la cual se realizó las aplicaciones de ciertos criterios de evaluación documentaria, como el año de publicación, el sitio web de publicación, y su aporte al presente trabajo.

La data recolectada para presente trabajo de investigación correspondieron a los registros de precipitación y temperatura promedio mensual del periodo 1981 – 2010 de las estaciones anteriormente mencionadas en la Tabla 1 ubicadas en la cuenca del Río Santa, y registradas en el portal web de SOFIA, así como también, a través de las coordenadas geográficas de las mismas estaciones, se tomará encuentra los datos satelitales recopilados en el portal web de POWER, para el mismo periodo.

3.5. Procedimientos

A continuación, se describen los procedimientos que se realizaron para la recopilación de datos y su organización:

- Fase I: Descarga de Datos de Estaciones Meteorológicas. La data se descargó del portal web SOFIA-ANA (para precipitación) y de POWER-NASA (para temperatura), teniendo en cuenta las estaciones que cumplan los criterios de inclusión y exclusión, es decir, que cuenten con un registro continuo de 30 años de los parámetros de precipitación y temperatura, esto para tener homogeneidad en los datos para facilitar el procesamiento de los mismos.
- Fase II: Organización de Data. Una vez que la data fue descargada se pasó a organizar en cuadros de Excel, cuyos criterios serán “Estación”, “Año”, “Mes”, “Precipitación (mm)” y “Temperatura (°C)”. Se buscó que todos los datos estén correctamente organizados por estación con el periodo total de años a revisar (≥ 30). A través de esta organización de tablas se buscó poder identificar el comportamiento de la precipitación y temperatura a nivel macro (periodo de 30

años). Además, también se consideró la organización por Épocas de Año Hidrológico, a través de los periodos mensuales de las épocas de estiaje y avenida para la cuenca del río Santa, esto según lo mencionado por la Mancomunidad Municipal del Valle Fortaleza y Santa, 2017 (p. 4).

- Fase III: Procesamiento de la Data. En esta fase, se buscó que, a través del programa estadístico R Studio, se procese la data anteriormente ya organizada y obtener resultados como el Índice de Sequía, para conocer el estado de las precipitaciones; un análisis de varianza (ANOVA) para conocer diferencias significativas ente valores, el Método de Tukey para agrupar o separar a los valores iguales o diferentes y un Modelo de Regresión para conocer la correlación entre la temperatura y la precipitación a través del porcentaje de exactitud, ambos en función al periodo de tiempo.
- Fase IV: Análisis de Resultados y Elaboración de Gráficos. Luego de haber obtenido una serie de resultados, estos pasaron a analizarse teniendo en cuenta la teoría anteriormente revisada. Además, con la creación de gráficos a partir de la data recopilada, se tuvo una ayuda visual para poder explicar con mayor detalle algunos puntos importantes de los resultados de la investigación, así como también se abrió el paso a una efectiva discusión de los mismos.

3.6. Método de análisis de datos

- Referente a las Condiciones Pluviométricas:
Para poder evaluar las condiciones secas y húmedas de la cuenca en el tiempo, se utilizará el Índice de Sequía SPI (Standardized Precipitation Index), esto según lo establecido por SENAMHI, 2020 (p. 5). Con este índice se pretendió vigilar las precipitaciones, ya sea en forma de lluvias intensas o en deficiencias que puedan ocasionar sequías. Para lo cual se tomó como referencia la tabla de valores propuesta por McKee, 1993, cuya tabla se encuentra ubicada en el **Anexo 2**.
- Referente a la Correlación entre Cambio Climático y Años Hidrológicos:

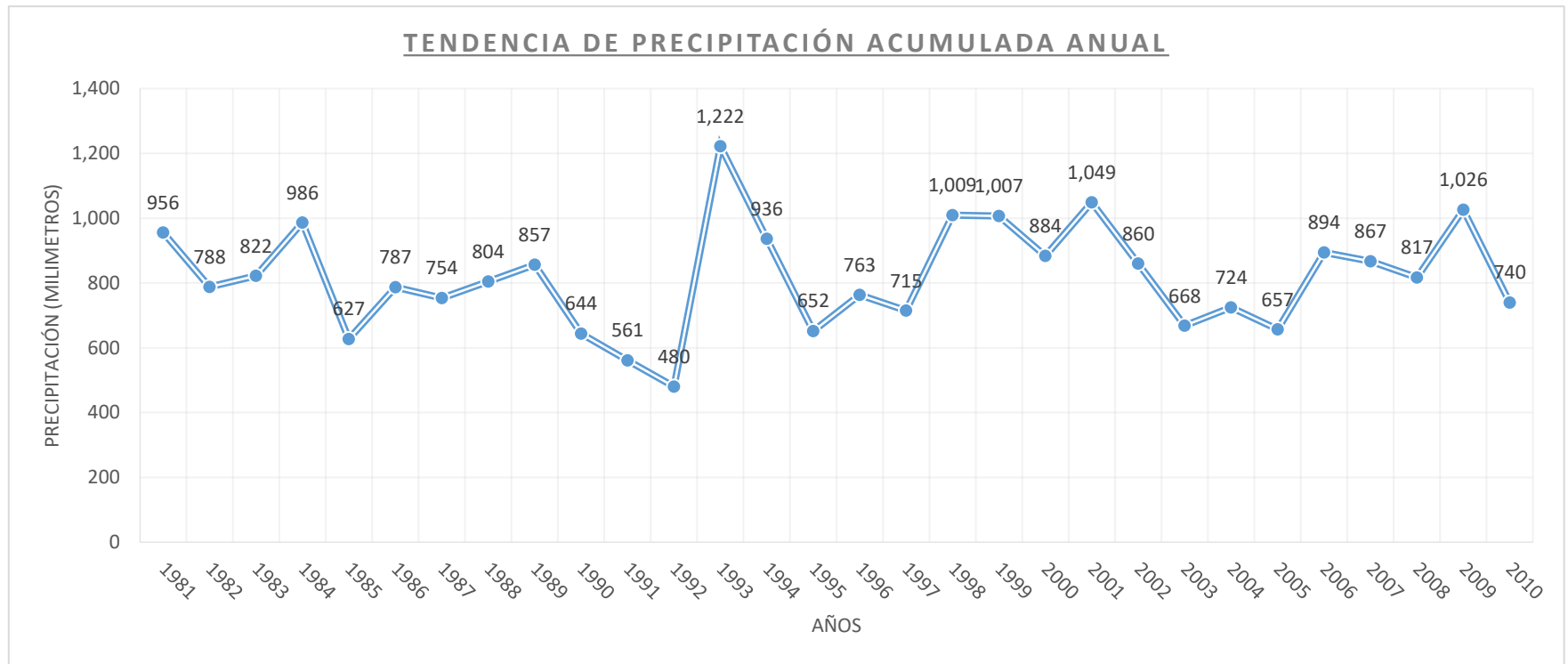
La incidencia del cambio climático se pudo medir a través de la variación de temperatura y precipitación en un periodo no menor a 30 años, esto según la Nota Técnica N°001-2019-SENAMHI-DMA, además para conocer estadísticamente la correlación entre el cambio climático y los años hidrológicos se tuvo en cuenta el análisis de varianza (ANOVA), para la identificación de incertidumbres en los datos respecto a su significancia estadística (Sun et al., 2019, p. 2438); el método de Tukey, para evaluar la diferencias entre pruebas (Rutkowska y Kohonová, 2020, p. 41), y finalmente un modelo de regresión lineal para explicar la relación entre las variables (Ali, Chu y Burbey, 2020, p. 2866).

3.7. Aspectos éticos

La data obtenida para realizar los diversos análisis en la presente investigación fue tratada con estricta responsabilidad, respetando las principales fuentes de donde se obtuvieron y haciéndoles mención a través de una cita bajo el estilo ISO 690. El presente trabajo pasó por un filtro de plagio para evitar similitudes con investigaciones ya realizadas, Además se respetaron los lineamientos establecidos por la Universidad César Vallejo. Finalmente, la obtención, revisión, procesamiento y análisis de data correspondieron a fines académicos. La presente investigación fue de autoría propia.

IV. RESULTADOS

Figura 1: Gráfico de promedio global de precipitación



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 1, la línea azul representa el promedio del acumulado anual de las estaciones. Se observó cómo la precipitación se ha comportado específicamente por año en la zona, así como también durante todo el periodo de tiempo. El gráfico refleja que no hay tendencia alguna establecida, puesto que los datos son irregulares, siendo los años más evidentes 1992 y 1993. La precipitación acumulada anual presentó un comportamiento irregular alcanzando un pico de 1222 mm y un mínimo de 480 mm.

Tabla 2: Agrupación por el método de Tukey para precipitación (confianza al 95%)

Cod_EM	N	Media	Agrupación					
22	30	140.46	A				GP1	
11	30	111.21	B				GP2	
15	30	99.28	B	C			GP2	
21	30	87.88	C	D				
12	30	84.89	C	D				
5	30	83.99	C	D	E		GP3	
20	30	81.82	C	D	E	F		
4	30	81.05	C	D	E	F		
10	30	74.93	D	E	F	G		
3	30	72.61	D	E	F	G		
23	30	71.79	D	E	F	G	H	GP4
24	30	71.11	D	E	F	G	H	I
13	30	63.28	E	F	G	H	I	J
18	30	62.82	F	G	H	I	J	
2	30	62.26	F	G	H	I	J	
7	30	59.31	G	H	I	J		GP5
19	30	58.37	G	H	I	J		
8	30	58.34	G	H	I	J		
26	30	51.27	H	I	J	K		
25	30	50.21	I	J	K			
6	30	50.03	J	K				
27	30	50.01	J	K				GP6
14	30	50.01	J	K				
17	30	48.98	J	K				
16	30	47.58	J	K				
1	30	34.41	K					GP7
9	30	33.69	K					

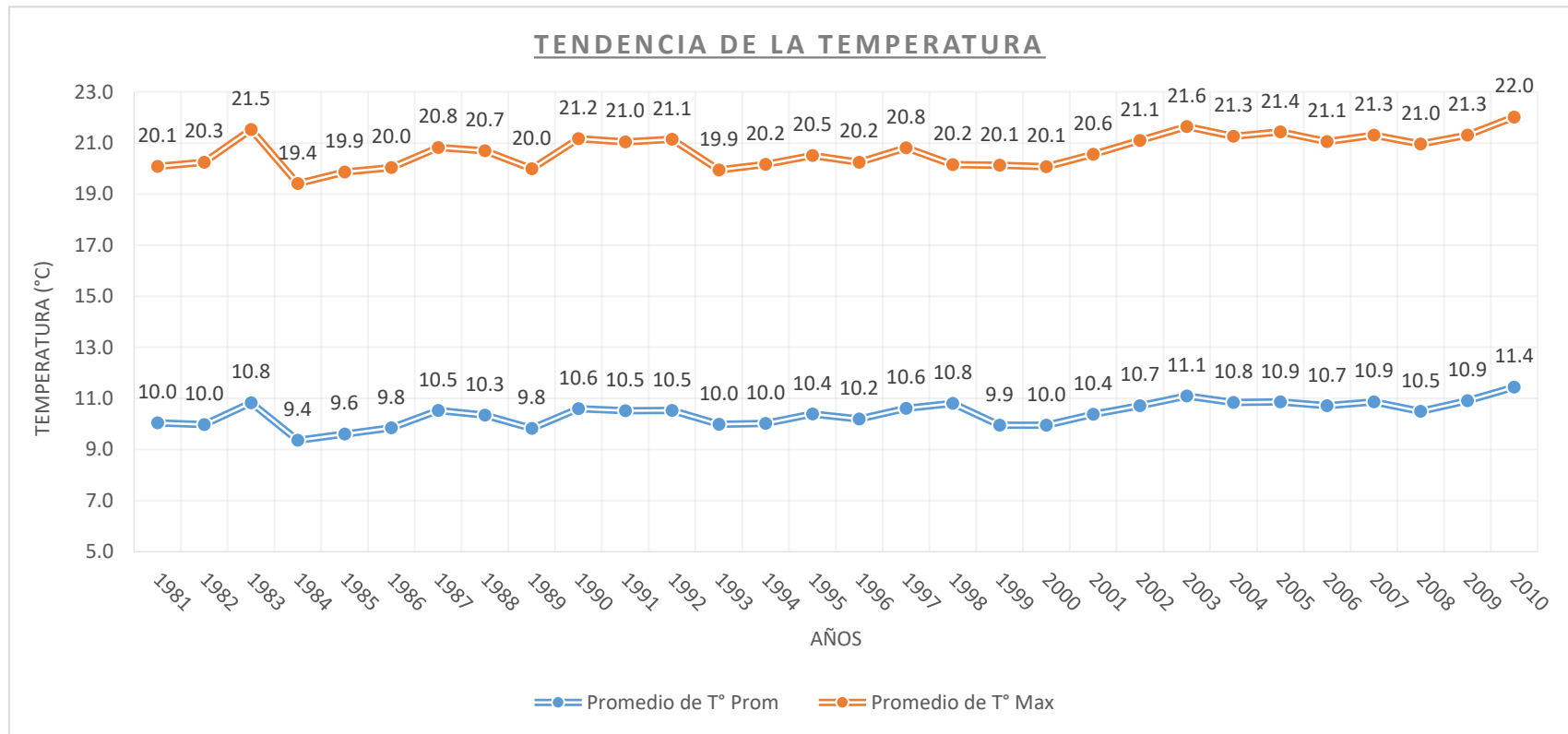
Fuente: Elaboración Propia

Se realizó un el análisis de varianza (Anexo 7), donde se observó que el valor p es igual 0, lo cual indica que sí hay diferencias significativas entre el promedio mensual de las precipitaciones por estación meteorológica. Es decir, en algunos lugares el promedio es mayor y en otros es menor, sin embargo, no menciona cuales.

Para eso se realizó una prueba de comparación múltiple por el Método de Tukey, como se puede apreciar en la tabla 2, que permite agruparlos. En la parte derecha se aprecian los números asignados de cada estación meteorológica, donde la estación 22 es la que tiene mayor precipitación, a la cual se le considera como un solo grupo porque está marcadamente separada de su sucesora. El mismo criterio se tomó para la formación de los demás grupos, quedando entonces 7 grandes grupos.

Finalmente, se realizó un resumen del modelo (Anexo 8), donde se apreció que este modelo tiene una exactitud del 53.56%, lo que hace referencia al nivel de exactitud de predicción del modelo. Este valor indica el porcentaje de la variación total de la precipitación en el tiempo, que la regresión estimada es capaz de explicar (Novales, 2010, p. 38)

Figura 2: Gráfico de promedios globales de temperatura



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 2 se aprecia la comparativa entre los promedios de la Temperatura Promedio General con los de la Temperatura Máxima General con la finalidad de observar si existían diferencias entre ambas. Se observó que a lo largo de los años el comportamiento de la temperatura promedio (9.4 °C y 11.5 °C) y máxima (19 °C y 22 °C) es casi constante con una tendencia ligeramente ascendente. Ambas tendencias son similares, reflejando que no existe mucha variación, es decir, que la temperatura en el tiempo no ha tenido un cambio drástico en esas zonas.

Tabla 3: Agrupación por el método de Tukey para temperatura (confianza al 95%)

Cod_EM	N	Media	Agrupación	
12	30	17.6292	A	GT1
8	30	15.7799	B	GT2
3	30	15.7799	B	
27	30	11.8062	C	
26	30	11.8062	C	
17	30	11.8062	C	GT3
15	30	11.8062	C	
9	30	11.8062	C	
1	30	11.8062	C	
25	30	11.1449	D	
22	30	11.1449	D	
16	30	11.1449	D	GT4
11	30	11.1449	D	
10	30	11.1449	D	
4	30	11.1449	D	
20	30	8.0900	E	
18	30	8.0900	E	
14	30	8.0900	E	
24	30	7.9215	E	
23	30	7.9215	E	
21	30	7.9215	E	GT5
19	30	7.9215	E	
13	30	7.9215	E	
6	30	7.9215	E	
5	30	7.9215	E	
2	30	7.9215	E	
7	30	6.4805	F	GT6

Fuente: Elaboración Propia

Se realizó un el análisis de varianza (Anexo 7), donde se observó que el valor p es igual a 0; lo cual indica que sí hay diferencias significativas entre el promedio mensual de las precipitaciones por estación meteorológica. Es decir, en algunos lugares el promedio fluctúa, sin embargo, no menciona cuales son mayores o menores.

Para eso se realizó una prueba de comparación múltiple por el Test de Tukey, como se observa en la tabla 3, que permite agruparlos. En la parte derecha se aprecian los números asignados de cada estación meteorológica. Se puede observar que la estación 12 es la que tiene una temperatura más alta, además, se puede diferenciar mejor la separación entre grupos debido a que los valores presentan separaciones más marcadas. Quedando entonces 6 grandes grupos.

Finalmente, se realizó un resumen del modelo (Anexo 8), donde se apreció que este modelo tuvo una exactitud del 97.01% en cuanto a predicción del modelo.

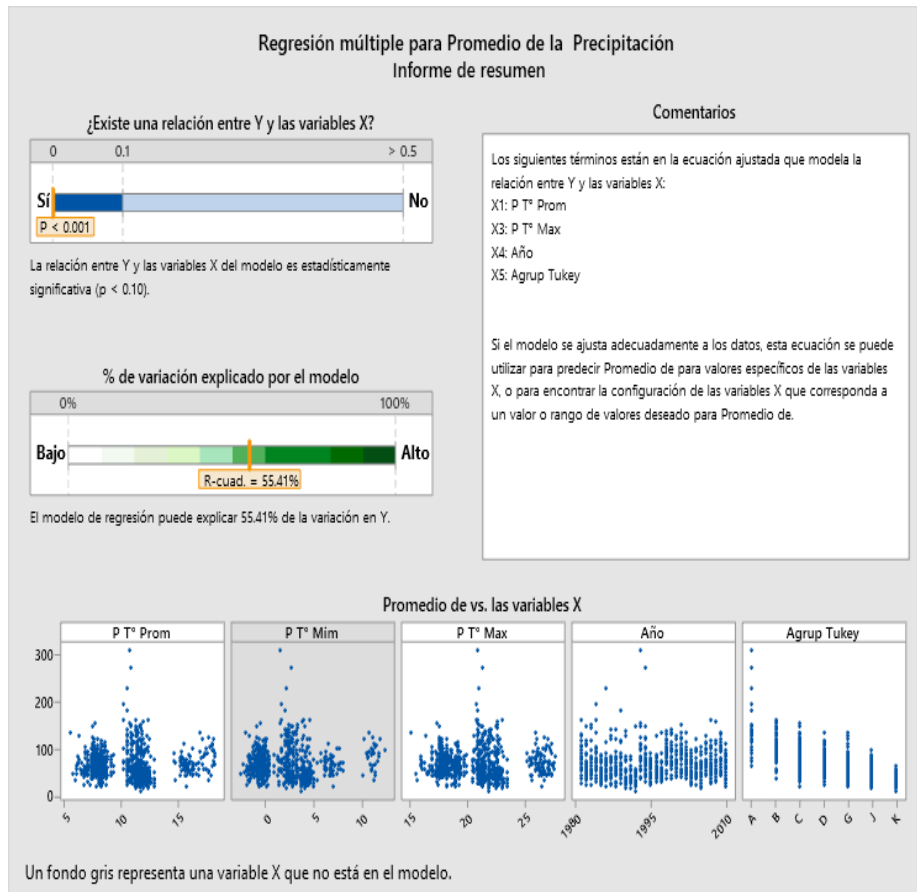
Tabla 4: *Cruce de agrupaciones de precipitación y temperatura*

Agrupación de Precipitación	Agrupación de Temperatura
GP1	GT4
GP2	GT3
	GT4
GP3	GT1
	GT4
	GT5
GP4	GT2
	GT4
	GT5
GP5	GT2
	GT5
	GT6
GP6	GT3
	GT4
	GT5
GP7	GT3

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4 se observa el cruce de las agrupaciones de precipitación y temperatura, tomando en cuenta las agrupaciones de Tukey se pudo apreciar que no hay una relación entre la Temperatura y la Precipitación estadísticamente significativa. Esto debido a que los valores más altos de la precipitación no van acorde a los valores más altos o bajos de la Temperatura.

Figura 3: Regresión múltiple para promedio de precipitación



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 3 se aprecia el Resumen de una corrida de un modelo de Regresión Múltiple, la cual se hizo con el fin de poder determinar la precipitación en base a la T° prom, T° máx, Año, y la agrupación de las estaciones meteorológicas. Como el valor de p se encuentra en 0.1 y 0, entonces se puede decir que, si hay una relación entre las variables predictoras y la variable dependiente, pero con una exactitud de 55.41%. Los gráficos inferiores representan el comportamiento de las variables. Se apreció que para la comparativa entre precipitación y la temperatura máxima, promedio y los años, no se marca una tendencia clara en base a la precipitación. Sin embargo, en el gráfico de Agrupación Tukey sí se marca una ligera tendencia negativa marcada, en donde el grupo A representa a la zona de estaciones con mayor precipitación, y el grupo K; la de menor precipitación. Revisando el efecto incremental de las variables predictoras se tiene que más del 50% es explicada por agrupación de las estaciones meteorológicas.

Tabla 5: *Agrupación por método de Tukey para precipitación por épocas de año hidrológico (confianza al 95%)*

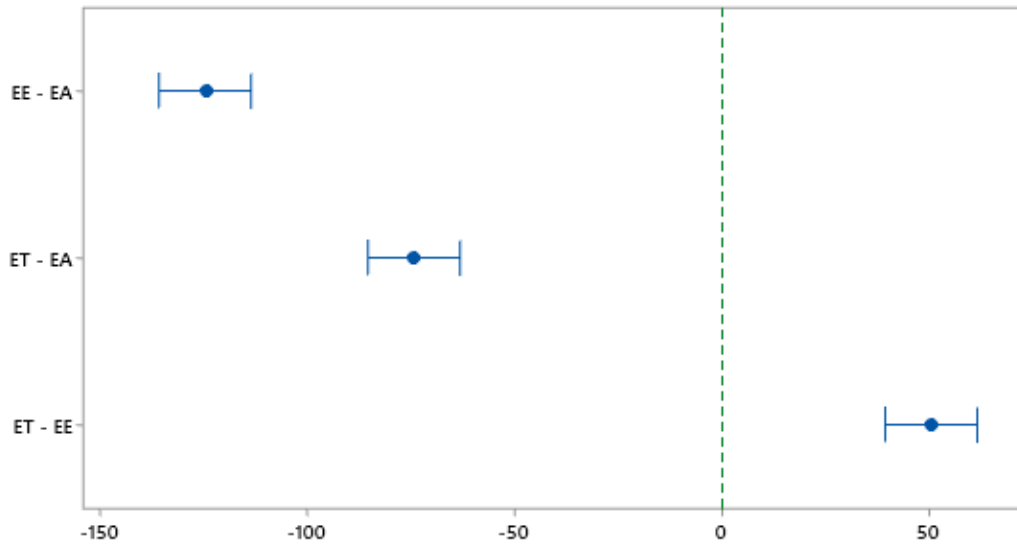
Cod_Epoca	N	Media	Agrupación
EA	210	140.14	A
ET	210	65.96	B
EE	210	15.64	C

Fuente: Elaboración Propia

Se realizó un el análisis de varianza (Anexo 7), donde se observó que el valor p es igual 0, lo cual indicó que sí existen diferencias significativas por Épocas de Año Hidrológico (tomando en cuenta los datos de los Índices de Sequías obtenidos por las precipitaciones), sin embargo. no menciona cuales son las que se diferencian.

Para eso se realizó una prueba de comparación múltiple por el Método de Tukey, como se observa en la tabla 5, que permite agruparlos. En la parte derecha se aprecia cómo para cada época le corresponde una letra distinta, así como también que la diferencia entre media por época es muy marcada. Siendo la media mayor la de la Época de Avenida (EA) con 140.14 mm; la media menor la de la Época de Estiaje (EE) con 15.64 mm; y entre ambas se ubica la media de la Época de Transición (ET), con 65.96 mm.

Figura 4: *Gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey para precipitación por épocas de año hidrológico*



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, en la figura 4 se observa el gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey para la Precipitación por Épocas de Año Hidrológico, en donde estos intervalos se comparan, se apreció que ningún intervalo cae dentro del 0, lo cual implica que exista una diferencia estadísticamente significativa.

Tabla 6: Agrupación por método de Tukey para temperatura máxima por épocas de año hidrológico (confianza al 95%)

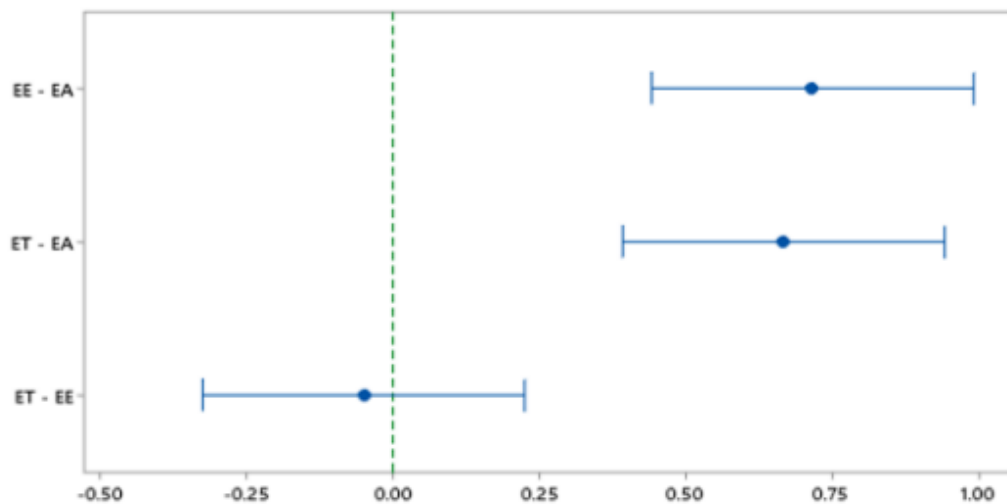
Cod_Epoca	N	Media	Agrupación
EE	210	10.8982	A
ET	210	10.7602	A
EA	210	10.5402	B

Fuente: Elaboración Propia

Se realizó un el análisis de varianza (Anexo 7), donde se observó que el valor p es igual 0, lo cual indicó que sí existen diferencias significativas por Épocas de Año Hidrológico (tomando en cuenta los datos de los Índices de Sequías obtenidos por las precipitaciones), sin embargo. no menciona cuales son las que se diferencian.

Para eso se realizó una prueba de comparación múltiple por el Método de Tukey, como se observa en la tabla 6, que permite agruparlos. En la parte derecha se aprecia cómo para la Época de Estiaje (EE) así como para la Época de Transición (ET), les corresponde la misma letra, sin embargo, a la Época de Avenida (EA) le corresponde otra letra, marcando así una diferencia significativa entre esta y las dos épocas anteriores.

Figura 5: Gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey para temperatura máxima por épocas de año hidrológico



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, en la figura 5 se observa el gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey para la Temperatura Máxima por Épocas de Año Hidrológico, en donde estos intervalos se compararon, se apreció que el intervalo entre ET y EE cae dentro del 0, implicando que no existe una diferencia significativa entre ambas épocas, caso contrario con las comparaciones restantes entre épocas.

Tabla 7: Agrupación por método de Tukey para temperatura promedio por épocas de año hidrológico

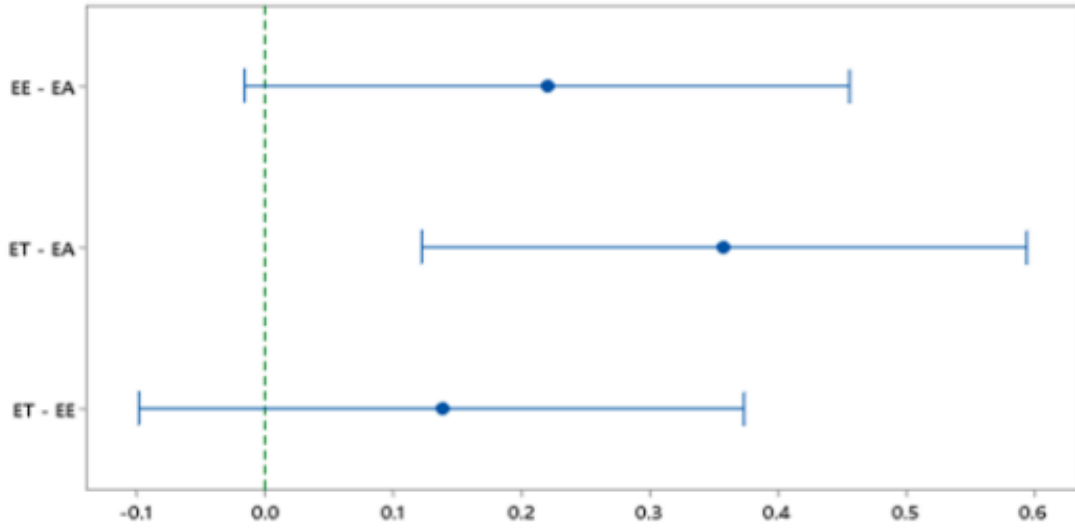
Cod_Epoca	N	Media	Agrupación	
ET	210	10.8982	A	
EE	210	10.7602	A	B
EA	210	10.5402		B

Fuente: Elaboración Propia

Se realizó un el análisis de varianza (Anexo 7), donde se observó que el valor p es igual 0.002 siendo esto menor a 0.05, lo cual indica que sí existen diferencias significativas por Épocas de Año Hidrológico (tomando en cuenta los datos de los Índices de Sequías obtenidos por las precipitaciones), sin embargo. no menciona cuales son las que se diferencian.

Para eso se realizó una prueba de comparación múltiple por el Método de Tukey, como se observa en la tabla 7, que permite agruparlos. En la parte derecha se aprecia cómo para la ET y EE existe la misma letra, sin embargo, EE también comparte letra con EA, siendo ET y EA las épocas que se encuentran significativamente distantes entre sí.

Figura 6: Gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey para temperatura promedio por épocas de año hidrológico



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, en la figura 6 se observa el gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey para la Temperatura Promedio por Épocas de Año Hidrológico, en donde estos intervalos se compararon, se apreció que, tanto el intervalo de EE-EA, como el de ET-EE caen dentro del 0, implicando que no existe una diferencia significativa entre la ET para con las demás épocas. Además, el intervalo de ET-EA no cae dentro del 0, por lo que sí existe una diferencia significativa entre ambas épocas.

Tabla 8: Categorización de los años hidrológicos según el SPI promedio global por meses

Año/Mes	Época de Avenida				Época de Transición		Época de Estiaje			Época de Transición		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1981	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
1982	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
1983	NORMAL	NORMAL	MODERADAMENTE HÚMEDO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	MODERADAMENTE HÚMEDO	MODERADAMENTE HÚMEDO	NORMAL
1984	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
1985	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
1986	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
1987	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
1988	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
1989	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	MODERADAMENTE SECO	NORMAL	NORMAL	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	NORMAL	NORMAL
1990	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO
1991	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	SEVERAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	SEVERAMENTE SECO	SEVERAMENTE SECO
1992	MODERADAMENTE SECO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	MODERADAMENTE HÚMEDO	MUY HÚMEDO
1993	MUY HÚMEDO	MUY HÚMEDO	MUY HÚMEDO	MUY HÚMEDO	MUY HÚMEDO	MODERADAMENTE HÚMEDO	MODERADAMENTE HÚMEDO	MODERADAMENTE HÚMEDO	MODERADAMENTE HÚMEDO	MODERADAMENTE HÚMEDO	NORMAL	NORMAL
1994	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
1995	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
1996	NORMAL	NORMAL	NORMAL	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	NORMAL	NORMAL
1997	NORMAL	NORMAL	MODERADAMENTE HÚMEDO	MODERADAMENTE HÚMEDO	MODERADAMENTE HÚMEDO	MODERADAMENTE HÚMEDO	MODERADAMENTE HÚMEDO	MODERADAMENTE HÚMEDO	MODERADAMENTE HÚMEDO	MODERADAMENTE HÚMEDO	MODERADAMENTE HÚMEDO	NORMAL
1998	NORMAL	MODERADAMENTE HÚMEDO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	MODERADAMENTE HÚMEDO	NORMAL	NORMAL	NORMAL
1999	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
2000	MODERADAMENTE HÚMEDO	NORMAL	MODERADAMENTE HÚMEDO	MODERADAMENTE HÚMEDO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	EXTREMADAMENTE SECO	MODERADAMENTE HÚMEDO	MODERADAMENTE HÚMEDO
2001	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
2002	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
2003	NORMAL	NORMAL	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	MODERADAMENTE SECO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
2004	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
2005	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
2006	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
2007	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
2008	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	MODERADAMENTE HÚMEDO
2009	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
2010	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 8 se categorizaron los años hidrológicos según el SPI promedio global por meses en el periodo 1981-2010. Se evidencia que, la gran mayoría del tiempo, los indicadores se encuentran dentro de la categoría de “Normal”, sin embargo, hubo ciertos años y periodos de años enteros cuyos indicadores se dispararon.

Se apreció que durante todo el año 1991 hubo un periodo extenso moderadamente seco en la cuenca, siendo mayo, noviembre y diciembre, meses severamente secos, de igual forma en 1996 (desde abril hasta octubre) y 2003 (desde marzo hasta agosto). Lo cual difiere de años como 1993, donde casi en su totalidad fue húmedo, categorizándose como mu húmedo los 5 primeros meses, y los próximos 5 meses, moderadamente húmedo, de igual manera el año 1997 (desde mayo hasta noviembre), teniendo la misma categoría.

Si bien no hubo un mes extremadamente húmedo, sí hubo uno extremadamente seco en octubre del año 2000, ubicándose dentro de la Época de Transición.

Respecto a la Época de Avenida durante el periodo 1981-2010 en la cuenca, esta tuvo 5 meses categorizados como muy húmedos, todos pertenecientes al año 1993 y 7 meses como moderadamente húmedos, dispersos dentro del periodo de tiempo. Además, también contó con 10 meses moderadamente secos, estando la mayoría de estos en 1991.

Respecto a la Época de Estiaje durante el periodo 1981-2010 en la cuenca, esta tuvo 10 meses categorizados como moderadamente secos, en los años 1989,1991,1996 y 2003. Además, también contó con 7 meses moderadamente húmedos, los cuales se dieron en los años 1993, 1997 y 1998.

Se observó que, en su mayoría, los meses están categorizados como Normales, independientemente de la época en la que se encuentren, abarcando casi todo el espectro del periodo de tiempo.

Tabla 9: Agrupación por Método de Tukey para Índice de Sequía por Épocas de Año Hidrológico.

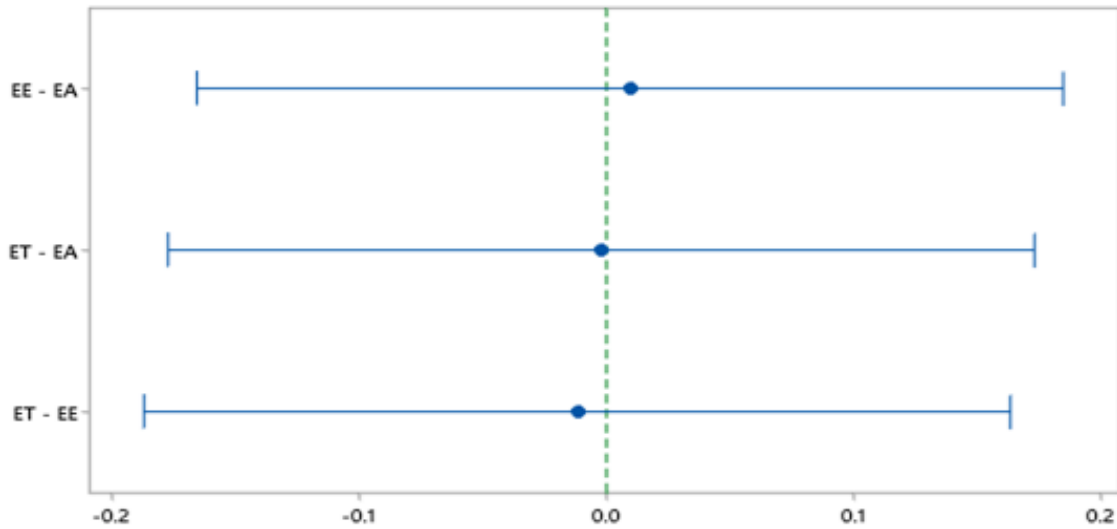
Cod_Epoca	N	Media	Agrupación
EE	210	0.1357	A
EA	210	0.1261	A
ET	210	0.1240	A

Fuente: Elaboración Propia

Se realizó un el análisis de varianza (Anexo 7), para los Índices de Sequía, donde se observó que el valor p es igual a 0.986 siendo esto mayor a 0.05, lo cual indica que no existen diferencias significativas por Épocas de Año Hidrológico, por lo que ninguna época se diferenciaría de las otras.

En la prueba de comparación múltiple por el Método de Tukey se reflejó lo anteriormente mencionado, como se observa en la tabla 9. En la parte derecha se aprecia cómo EE, EA y ET pertenecen a la misma letra, por lo que indicarían que no existen diferencias significativas entre las estaciones.

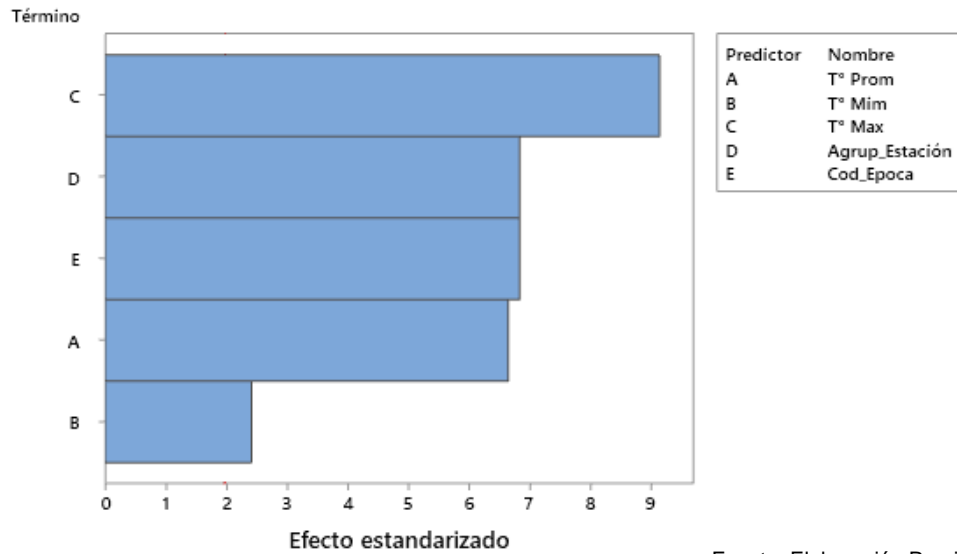
Figura 7: Gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey para índices de sequía por épocas de año hidrológico



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, en la figura 7 se observa el gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey para los Índices de Sequía por Épocas de Año Hidrológico, en donde estos intervalos se compararon. Se apreció que los tres intervalos caen dentro del 0, confirmando que las tres estaciones son similares para sus índices de sequía o que no presentan diferencias marcadas entre sus medias.

Figura 8: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para modelo de regresión



Fuente: Elaboración Propia

Se realizó un el análisis de varianza (Anexo 9), para el Modelo de Regresión, en donde se incluyen todas las variables que aportan a explicar la precipitación dentro del estudio, sienta estas: Temperatura Promedio (T° Prom), Temperatura Mínima (T° Min), Temperatura Máxima (T° Max), las Agrupaciones por Estaciones (Agrup_Estación) y las Épocas del Año Hidrológico (Cod_Epoca). Se aprecia que el valor p es 0 en todas las variables excepto en la T° Min, donde es 0.016, sin embargo, este valor es inferior al 0.05, por lo que se puede decir que todas las variables se diferencian significativamente entre sí.

Además, también se aprecia en el anexo 8 que el modelo tiene una exactitud del 83.79%, considerándose un modelo aceptable por pasar el 80%.

Finalmente, con el fin de saber qué variable está influyendo más en el modelo de Regresión, se observó en la figura 9 un diagrama de Pareto de Efectos Estandarizados. Aquí se pudo ver que quien más influye en las precipitaciones fue la Temperatura Máxima, seguido de las Agrupaciones por Estaciones y las Épocas del Año Hidrológico, luego está la Temperatura Promedio y finalmente la Temperatura Mínima, aportando todos a explicar la precipitación.

V. DISCUSIÓN

Los resultados encontrados en este estudio se han segmentado en cuatro partes: Precipitación, Temperatura, Épocas de Año Hidrológico y Modelo de Regresión Lineal Múltiple.

Para poder evaluar la influencia del cambio climático en los años hidrológicos de la cuenca del río Santa, fue indispensable analizar primero los indicadores pertenecientes a estas variables, tanto por separado como en conjunto en el periodo previamente establecido, puesto que están directamente relacionados (Kundzewickz, 2008, p. 197).

Referente a la precipitación, esta se evaluó tomando en consideración el promedio global obtenido, se pudo apreciar que no existe una tendencia establecida para el periodo de tiempo considerado debido a la irregularidad en los valores, y que este promedio fluctuó entre 1222 mm y 480 mm (Figura 1). Además, cabe mencionar que, en 20 de 30 años, los valores promedio superaron los 750mm, y teniendo en cuenta que las cotas en 26 de 27 estaciones son superiores a los 2748 msnm (Tabla 1), entonces el estudio se centró en mayor proporción en la subcuenca Alta y en menor medida en la subcuenca Media y Media Alta, por lo que se estuvo en presencia de un estudio enfocado plenamente en una cuenca húmeda en su totalidad (SEDALIB, 2018, p. 7-17).

Asimismo, al haber realizado el análisis de varianza de los datos obtenidos se encontró que todos eran significantes puesto a que había ausencia de similitudes entre los mismos (Anexo 7), sin embargo, al no poder diferenciarlo se procedió a agruparlos por el método de Tukey, obteniendo 7 grandes grupos, ordenados ascendentemente considerando su media de precipitación por estación (Tabla 2), con lo cual se pudo identificar que las estaciones con mayor media son Quiruvilca (3980 msnm), Huangacocha (3953 msnm) y Milpo (4400 msnm); y las menores son Mollepata (2580 msnm), Aja (3440 msnm) y Cotaparaco (3170 msnm); revelando de esta manera que los resultados discriminan ligeramente la cota en la que se encuentran las estaciones, contrastando con lo mencionado por SEDALIB, 2018, donde se hace referencia a que,

por las cotas en donde se encuentran y los promedios resultantes, la subcuenca debería ser húmeda, no obstante, estas tres últimas estaciones al presentar valores menores a 50mm, por lo que deberían encontrarse en una subcuenca seca.

Referente a la temperatura, esta se evaluó tomando en consideración el promedio global obtenido, se puede apreciar que existe una ligera tendencia ascendente, tanto en la temperatura promedio general como en la temperatura máxima general (Figura 2), pero que la variación dentro del periodo de tiempo no representó un cambio considerable pero sí uno constante (0.065 °C promedio por año). De igual manera que con la precipitación, se realizó un análisis de varianza de los datos obtenidos, encontrando diferencias significativas entre los mismos (Anexo 7), sin embargo, al no conocer estas diferencias entre sí se procedió a agruparlos por el método de Tukey, obteniendo 6 grandes grupos ordenados ascendentemente considerando su media de temperatura por estación (Tabla 3), con lo cual se pudo identificar que las estaciones con mayor media son Julcán (3460 msnm), Conchudos (3200 msnm) y Cabana (3160 msnm); y las de menor media, Chiquian (3382 msnm), Anta (2748 msnm) y Cahuish (4550 msnm); revelando que para este indicador, el nivel de cota es despreciable.

Al haber hecho una comparativa entre los Modelos de Regresión de ambos indicadores, se pudo apreciar que la precipitación tuvo tan solo una exactitud del 53.56%, mientras que la temperatura tuvo una exactitud del 97.01% (Anexo 8). Esto se pudo apreciar a simple vista en los gráficos de cada indicador, en la variación y uniformidad de los datos. Además, al cruzar las agrupaciones anteriormente realizadas para precipitación y temperatura, se pudo observar la escasa relación entre ambos indicadores (Tabla 4). La agrupación de mayor precipitación se relacionaba directamente con una agrupación de temperatura media, de igual manera la segunda agrupación de mayor precipitación también se relacionaba con agrupaciones de temperatura media.

Entonces, para determinar el grado de correlación entre la Precipitación, la Temperatura (Máxima y Promedio), se realizó un modelo de Regresión Múltiple (Figura 3). En el modelo se encontró que, si bien sí existe una relación estadísticamente

significativa entre estas variables, esta solamente cuenta con una exactitud del 55.41%. Siendo este el porcentaje de variación total estimado que es capaz de explicar el modelo (Novales, 2010, p. 38) Determinando de esta manera que la relación únicamente entre la precipitación y la temperatura no presenta una exactitud aceptable.

Por otro lado, estos indicadores también se evaluaron dentro de las Épocas del Año Hidrológico, donde se evaluó el comportamiento de la precipitación, así como también de la temperatura (máxima y promedio), y posteriormente se caracterizó mensualmente a los Años Hidrológicos tomando en consideración su Índice de Sequía.

Respecto a los datos de precipitación organizados por Épocas de Año Hidrológico, estos pasaron por un análisis de varianza, donde se encontró que sí existen diferencias significativas entre las tres épocas en lo que refiere a precipitación (Anexo 7). Sin embargo, al no conocer cuáles son las que se diferencian, se realizó una agrupación por el método de Tukey, donde se aprecia que cada época forma un grupo que dista de las otras (Tabla 5). A esto se le sumó un gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey, donde al comparar a las épocas entre sí, se pudo observar que siguen distando una de otra, sin que ningún intervalo caiga en igualdad (Figura 4).

Referente a los datos de temperatura máxima organizado por Épocas de Año Hidrológico, también pasaron por un análisis de varianza, donde se encontró que existen diferencias significativas entre las épocas, pero no se muestra entre cuales (Anexo 7). Por lo que se procedió a agruparlos por el método de Tukey, donde se observa que existen dos grupos, uno que engloba a la época de estiaje y a la época de transición y otro únicamente para la época de avenida (Tabla 6). Aquí se aprecia que la diferencia entre ambas agrupaciones son 0.22 decimales, siendo la temperatura mayor en la época de estiaje y la menor en la época de avenida. A esto se le adicionó un gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey, en donde se compararon las épocas entre sí para ver en cuales existen similitudes y diferencias, y se encontró que al comparar la época de transición con la de estiaje, este intervalo cae dentro del 0, implicando su igualdad (Figura 5).

De igual manera se procedió con los datos de temperatura promedio organizado por Épocas de Año Hidrológico, al hacer el análisis de variancia, el valor p salió 0.002, a diferencia de los anteriores valores p (0.000), sin embargo, al ser menor que 0.05 (valor que representa la confianza del 95%) para estos datos también se consideraría la existencia de una diferencia significativa (Anexo 7). Al agruparlos por el método de Tukey podemos ver que también existen dos grupos, sin embargo, la época de estiaje se encuentra presente en ambos (Tabla 7). Por lo que, al comparar las épocas en el gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey, se pudo apreciar que tan solo la comparativa entre la época de transición y la de avenida, difieren del resto y se alejan del valor 0, implicando su diferencia para con la época de estiaje (Figura 6).

Entonces, con esto se puede apreciar que la precipitación sí tiene un margen amplio de diferencia con respecto a su presencia en las distintas épocas; caso contrario a la temperatura máxima, donde los valores de la época de transición se asemejan a la época de estiaje; y a la temperatura promedio, donde la época de estiaje tiene similitudes con el resto de épocas. Por ende, la época de avenida vendría a ser la que dista de las demás tanto en precipitación como en temperatura. A pesar que el avance de la precipitación en el tiempo haya sido irregular, a nivel de Época de Año Hidrológico, la precipitación durante la época de avenida se ha mantenido constante, lo cual reflejaría que los cambios mayoritarios se estén dando en las épocas de transición y de sequía.

Después, se realizó una categorización mensual de los Años Hidrológicos, tomando en cuenta el Índice de Sequía Promedio Global y su tabla de valores (SENAMHI, 2020, p. 5). De un total de 360 meses, se encontró a manera general a 6 meses caracterizados como muy húmedos, 26 meses como moderadamente húmedos, 31 meses como moderadamente secos, 3 meses como severamente secos y 1 mes como extremadamente seco, dando a revelar la presencia de más meses secos que húmedos; el resto de meses (293) fueron categorizados como normales, siendo la extensa mayoría (Tabla 8). Al verlo por épocas se puede apreciar que, tanto para la época de avenida como para la época de estiaje se encontraron 10 meses moderadamente secos y 7 moderadamente húmedos, demostrando que realmente, no

hay una diferencia significativa a nivel de caracterización entre ambas épocas además de 4 meses muy húmedos encontrados en la época de avenida. Sin embargo, en la época de transición además de poder encontrar un mes extremadamente seco, también se puede apreciar un mes muy húmedo, 12 meses moderadamente húmedos, 3 meses severamente secos y 11 meses moderadamente secos, dando a denotar que la mayoría de fluctuaciones del índice de sequía se darían en esta época.

Con esto se pudo apreciar que el comportamiento de los años hidrológicos en la cuenca del Río Santa ha sido muy estable a lo largo de los años, sus estaciones de avenida y estiaje no representaron diferencias a grandes rasgos, por lo que ninguna tiene una tendencia definida a ser más húmeda o más seca. Para probar esto se realizó un análisis de varianza para el Índice de Sequía por Épocas de Año Hidrológico, encontrándose que el valor P superaba en gran medida el valor 0.05, denotando gran similitud entre sus datos (Anexo 7). De igual forma se realizó una agrupación por el método de Tukey, y se encontró que las tres épocas pertenecían a un mismo grupo, puesto que no había diferencias significativas entre las mismas (Tabla 9). Además, con el gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey se pudo comprobar que, al comparar las épocas unas con otras, todos los intervalos de comparaciones entraban dentro del valor 0, indicando así su alta similitud (Figura 7).

Si bien al analizar estrictamente la correlación entre la precipitación y temperatura se alcanzó una exactitud de 55.41%, se debe tomar en cuenta que los cambios en la precipitación en las épocas del año hidrológico también podrían deberse a factores locales (Biscaro et al., 2021, p. 6748-6750) dentro de la cuenca del Río Santa, factores externos como el incremento o disminución de vegetación (Murray et al., 2017, p. 5-8), factores ambientales como el fenómeno del niño (Zhang et al., 2016, p. 3690-3693) o eventos originados en el océano pacífico (Tao et al., 2021, p. 1476-1478).

Por lo que tomando en consideración que existen más factores que influyen en la precipitación, se decidió realizar un Modelo de Regresión Lineal Múltiple más amplio, adicionando otros factores como las agrupaciones de estaciones anteriormente realizadas y las épocas del año hidrológico. A este nuevo modelo se le realizó un

análisis de varianza, determinando de esta manera que sí existían diferencias estadísticamente significativas entre todos los factores considerados (Anexo 9). Luego a través de un Diagrama de Pareto de Efectos Estandarizados se logró apreciar que efectivamente los 5 factores considerados: T° Promedio, T° Mínima, T° Máxima, Agrupaciones de Estaciones y Épocas de año Hidrológico estaban influyendo sobre la precipitación, aportando todos a explicarla, siendo la T° Promedio la que más influye sobre la Precipitación, y la Época del Año Hidrológico la que menos influye (Figura 8).

Entonces, considerando estos nuevos factores, la exactitud del modelo ascendió a 83.79%, siendo mucho más aceptable para poder predecir la precipitación en futuros estudios y dándole más solidez al modelo usado.

Finalmente, las fortalezas encontradas de la metodología utilizada fueron la confiabilidad del estudio, puesto que se utilizaron tanto datos gubernamentales (ANA) como satelitales de una entidad mundialmente reconocida como la NASA. Las debilidades encontradas fueron la falta de variables a la hora de procesar los datos y mejorar la exactitud de predicción del modelo de regresión, puesto que, de haberse tenido más variables como velocidad del viento, humedad y caudal, se habría podido explicar de mejor manera el comportamiento de la precipitación en el tiempo. La investigación fue positiva puesto que con los resultados se pudo apreciar que, al no haber cambios significativos del cambio climático sobre los años hidrológicos de la cuenta, aún se está a tiempo de planificar medidas preventivas frente a posibles futuros escenarios.

VI. CONCLUSIONES

1. El cambio climático ha tenido una influencia reducida en los años hidrológicos de la cuenca del Río Santa, puesto que, si bien la temperatura sí tiene una tendencia ligeramente ascendente clara, esta no termina por influir de manera determinante sobre la precipitación, debido a que esta no presenta tendencias claras por la irregularidad de sus valores a lo largo del periodo establecido.
2. Ambas variables por sí solas se correlacionan a una exactitud del 53.56%, siendo este un valor lejano al 95% de confianza, sin embargo, al tomar en cuenta otros factores como las agrupaciones de estaciones realizadas y las épocas del año hidrológico, este porcentaje sube hasta 83.79%, siendo más cercano a la confianza.
3. Esta baja influencia se denota en la caracterización mensual de los Años Hidrológicos, en donde predomina con amplitud la categoría "Normal", despreciando la época estacional en la que se encuentre (sea época de avenida, transición o estiaje)
4. Este estudio concluye en que, durante el periodo de 1981-2010, el cambio climático no ha tenido una influencia determinante en los años hidrológicos de la cuenca del Río Santa, debido a que, a pesar de la tendencia de la temperatura, la precipitación no responde de la misma manera, y esto se refleja en la caracterización mensual de sus años hidrológicos. A pesar de ser una cuenca a priorizar en cantidad y calidad de agua, en el tiempo esta se ha mantenido estable con el paso de los años, sin embargo, al estar en un país vulnerable, de todas formas, se debería plantear una adaptación a futuro para los posibles efectos del cambio climático, puesto que, como se pudo apreciar, la única tendencia ligeramente ascendente y clara fue la de la temperatura. Adicionalmente se encontró que la cota en la que se encuentren las estaciones es despreciable al tomar valores que engloben a la cuenca.

VII. RECOMENDACIONES

- Con la finalidad de obtener una mayor exactitud en el modelo, es conveniente utilizar más parámetros ambientales tales como: Humedad Relativa/Específica, Velocidad del Viento y Caudal, además también de podrían considerar factores internos como actividades antropogénicas que tengan repercusión en la cuenca, factores externos como la vegetación y factores ambientales como eventos de fenómeno del niño/niña.
- Para futuras investigaciones se podría ampliar el rango del periodo de tiempo, esto con el propósito de observar más cambios y explicar mejor los fenómenos ocurrentes, así como mejorar el nivel de exactitud de los modelos pensando en un futuro pronóstico de data.

REFERENCIAS

- AL-KILANI, Muhammad; et al. Evaluation of Remotely Sensed Precipitation Estimates from the NASA POWER Project for Drought Detection Over Jordan. *Earth Systems and Environment* [en línea]. Vol. 5, pp. 561-573, 12 de julio de 2021. [Fecha de consulta: 19 de octubre de 2021].
Disponible en:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s41748-021-00245-2>
ISSN: 2509-9426
- ALI, Muhammad; CHU, Hone-Jay; BURBEY, Thomas. Mapping and predicting subsidence from spatio-temporal regression models of groundwater-drawdown and subsidence observations. *Hydrogeology Journal* [en línea]. Vol. 8, Issue 8, p. 2865-2876, 6 de agosto de 2020. [Fecha de consulta: 28 de octubre de 2021].
Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10040-020-02211-0>
ISSN:1431-2174
- ANDRADE, Mercedes; MEDRANO, Ojilve. Historical precipitation patterns in the South-Southeast region of Mexico and future projections. *Earth Sciences Research Journal* [en línea]. vol. 25, no. 1, marzo de 2021. [Fecha de consulta: 22 de junio de 2021], pp. 69-84.
Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/esrj/article/view/87255>
ISSN: 1794-6190
- BISCARO, Thiago [et al.]. What drives daily precipitation over the central Amazon? Differences observed between wet and dry seasons. *Atmospheric Chemistry & Physics* [en línea]. vol. 21, issue 9, octubre de 2020. [Fecha de consulta: 26 de junio de 2021]. pp. 6735-6754.
Disponible en: <https://acp.copernicus.org/articles/21/6735/2021/>
ISSN: 1680-7316
- COES SINAC. *Glosario de Abreviaturas y Definiciones utilizadas en los procedimientos técnicos del COES-SINAC* [en línea]. Lima, Perú. Comité de Operación Económica del SINAC. 2020.

Disponible en:

<https://www.coes.org.pe/Portal/browser/download?url=Marco%20Normativo/Procedimientos/Glosario%20de%20Terminos/Glosario%20de%20T%C3%A9rminos.pdf>

- CONTRACTOR, Steefan; DONAT, Markus; ALEXANDER, Lisa. Changes in Observed Daily Precipitation over Global Land Areas since 1950. *Journal of Climate* [en línea]. vol. 34, issue 1, enero de 2021. [Fecha de consulta: 28 de junio de 2021]. pp. 3-19.

Disponible en:

<https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/34/1/jcliD190965.xml>

ISSN: 0894-8755

- DELGADO, Carlos; et al. Calidad espacial y análisis territorial de datos climatológicos: el caso del Estado de México. *Ciencias Exactas y Aplicadas* [en línea]. Vol. 5, n. 3, p. 287-293, 13 de octubre de 2017. [Fecha de consulta: 19 de Octubre de 2021].

Disponible en: <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/7283>

ISSN: 2395-8782

- *DIAGNÓSTICO HÍDRICO RÁPIDO DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA COMO FUENTE DE AGUA Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS PARA LA EPS SEDALIB S.A* [en línea]. SEDALIB, 2018. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2021].

Disponible en: <http://www.sedalib.com.pe/upload/drive/32019/20190305-8391163904.pdf>

- DUNNING, Caroline; BLACK, Emily; ALLAN, Richard. Later Wet Season with More Intense Rainfall over Africa under Future Climate Change. *Journal of Climate* [en línea]. vol. 31, no. 23, 1 de diciembre de 2018. [Fecha de consulta: 22 de junio de 2021]. pp. 9719-9738.

Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/26661457>

ISSN: 0894-8755

- *El Perú y el Cambio Climático: Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático* [en línea]. Lima, Perú. MINAM, abril de 2016. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2021]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/05/Tercera-Comunicaci%C3%B3n.pdf>
- ESCOBAR, J. et al. Análisis de la Lluvia y su relación con fenómenos del cambio climático; estudio de caso en estación meteorológica Sardinas (San Bernardo, Durango). *Revista Chapingo. Serie Zonas Áridas* [en línea]. vol. 11, n° 2, 2012. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2021]. pp. 75-84. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545059003>
ISSN: 2007-526X
- ESPINOZA FREIRE, Eudaldo Enrique. Las variables y su operacionalización en la investigación educativa. Segunda Parte. *Revista Conrado* [en línea]. vol. 15, n° 69, 12 de julio de 2019. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2021]. Disponible en: <https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/1052>
ISSN: 1990-8644
- *Estudio Hidrológico Cuenca del Río Santa* [en línea]. Ancash, Perú. Mancomunidad Municipal del Valle Fortaleza y del Santa, febrero de 2017. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2021]. Disponible en: https://siar.minam.gob.pe/ancash/sites/default/files/archivos/public/docs/25_estudio_hidrologico_cuenca_del_rio_santa.pdf
- *Evaluación de recursos hídricos de doce cuencas hidrográficas del Perú: Resumen ejecutivo integrado* [en línea]. Lima, Perú. ANA, 2016. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/202>
- *Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Santa. Informe Final.* [en línea]. Lima, Perú. ANA, noviembre de 2015. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/23>

- FOLTON, Nathalie [et al.]. A 50-year analysis of hydrological trends and processes in a Mediterranean catchment. *Hydrology and Earth System Sciences* [en línea]. Vol. 23, issue 6, junio de 2019. [Fecha de consulta: 28 de junio de 2021]. pp. 2699-2714.
Disponible en: <https://hess.copernicus.org/articles/23/2699/2019/>
ISSN: 1027-5606
- HERCEG, Adrás; KALICZ, Péter y GRIBOVSKI, Zoltán. The impact of land use on future water balance – A simple approach for analyzing climate change effects. *IForest – Biogeosciences & Forestry* [en línea]. Vol. 14, Issue 2, Abril de 2021. [Fecha de consulta: 25 de Septiembre de 2021]. pp. 175-185.
Disponible en: <https://iforest.sisef.org/abstract/?id=ifor3540-014>
ISSN: 1971-7458
- HERNÁNDEZ, Arturo [et al.]. Metodología de la Investigación Científica [en línea]. Primera Edición. Manabí, Ecuador. Editorial 3 Ciencias. Febrero 2018. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2021].
Disponible en:
https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Ramos-Rodriguez/publication/322938332_Metodologia_de_la_investigacion_cientifica/links/5aa14866aca272d448b36198/Metodologia-de-la-investigacion-cientifica.pdf
ISBN: 978-84-948257-0-5
- HERNÁNDEZ-SAMPIERI, Roberto y MENDOZA, Christian. Metodología de la Investigación: Las Rutas Cuantitativa, Cualitativa y Mixta humanística [en línea]. Ciudad de México, México. McGraw-Hill Interamericana Editores, 2018. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2021].
Disponible en:
<http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1292/1/Hern%C3%A1ndez-%20Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n.pdf>
ISBN: 978-1-4562-6096-5

- HONKONEN, Tuula. Water Security and Climate Change: The need for Adaptive Governance. *Potchefstroom Electronic Law Journal* [en línea]. vol. 20, 2017. [Fecha de consulta: 22 de junio de 2021]. pp. 1-26.
Disponible en: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2983026
ISSN: 1727-3781
- IPCC, Anexo I: Glosario [Matthews J.B.R. (ed.)]. En: *Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza*. Masson-Delmotte V. et al, 2018, p. 75.
Disponible en:
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf
- KOCA, Gizem; BHUIYAN, Mohammad and MAYORGA, Rene. An Intelligent System for the Evaluation of Climate Change Effects on the Environment. *Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing* [en línea]. Vol. 35, Issue 1-2, 2020. [Fecha de consulta: 25 de Septiembre de 2021]. pp 195-216.
Disponible en: <https://dblp.org/db/journals/mvl/mvl35.html>
ISSN: 1542-3980
- KUNDZEWICKZ, Zbigniew W. Climate Change impacts on the hydrological cycle. *Ecohydrology&Hydrobiology* [en línea]. vol. 8, issues 2-4, 2008. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2021]. pp. 195-203
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1642359308700752>
ISSN: 1642-3593
- LI, Zhiying [et al.]. Impact of Climate Change on precipitation patterns in Houston, Texas, USA. *Anthropocene* [en línea]. vol. 25, febrero de 2019. [Fecha de consulta: 28 de junio de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213305419300049>

ISSN: 2213-3054

- LÓPEZ MARTÍNEZ, German Arturo. Estación Meteorológica para la Conformación de Redes. Proceso de Instalación. *Scientia Et Technica* [en línea]. vol. 21, núm. 2, junio 2016. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2021]. pp. 115-121.

Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84950866002.pdf>

ISSN: 0122-1701

- LÓPEZ, Pedro. Población Muestra y Muestreo. *Punto Cero* [en línea]. vol. 09, no. 08, 2004. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2021]. pp. 69.

Disponible

en:

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012

ISSN: 1815-0276

- MARZOUK, Osama. Assessment of global warming in Al Burami, sultanate of Oman base don statistical análisis of NASA POWER data over 39 years, and testing the reliability of NASA POWER against meteorological measurements. *Heliyon* [en línea]. Vol. 7, Issue 3, marzo de 2021. [Fecha de consulta: 19 de Octubre de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021007283>

ISSN: 2405-8440

- MESSETTA, Paula [et al.] Vulnerabilidad al cambio climático: Dificultades en el uso de indicadores en dos cuencas de Colombia y Argentina. *EMPIRIA. Revista de Metodología de las Ciencias Sociales* [en línea]. núm. 36, enero-abril 2017, pp. 119-147. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2021].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2971/297149614005.pdf>

ISSN: 1139-5737

- MURRAY, Guillermo [et al.]. The decreasing range between dry- and wet-season precipitation over land and its effect on vegetation primary productivity. *PLoS ONE* [en línea]. vol. 12, issue 12, 28 de diciembre de 2017. [Fecha de consulta: 22 de junio de 2021]. pp. 1-11.
Disponible en: <https://journals.plos.org/plosone/article/authors?id=10.1371/journal.pone.0190304>
ISSN: 1932-6203
- NOVALES, Alfonso. Análisis de Regresión. Departamento de Economía Cuantitativa – Universidad Complutense [en línea]. 20 de septiembre de 2010. [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2021]
Disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis%20de%20Regresion.pdf>
- *ORIENTACIONES PARA EL ANÁLISIS DEL CLIMA Y DETERMINACIÓN DE LOS PELIGROS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO. Nota Técnica N° 001-2019/SENAMHI/DMA* [en línea]. Perú. SENAMHI. 2019. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2021].
Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01402SENA-12.pdf>
- ORLANDONI, Giampaolo. Escalas de medición en Estadística. *Telos* [en línea]. vol. 12, núm. 2, mayo-agosto 2010. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2021].
Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/993/99315569009.pdf>
ISSN: 1317-0570
- OTZEN, Tamara; MANTEROLA, Carlos. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology* [en línea]. vol. 35, no. 1, marzo de 2017. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2021]. pp. 230.
Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>
ISSN: 0717-9502
- Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER). NASA, 2021 [Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2021].

Disponible en: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

- *Reporte de Condiciones secas y húmedas en el Perú durante el año hidrológico 2019-2020* [en línea]. Perú. SENAMHI. 2020. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2021].

Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/reporte-condiciones-secas-2019-2020%20DMA-DHI-DAM.pdf>

- *Respuesta Peruana al Cambio Climático* [en línea]. Lima, Perú. MINAM, junio de 2018. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2021].

Disponible en:

<https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/127/2018/06/Dossier-NDC.pdf>

- ROY, Ivonne [et al.]. Correlación: no toda correlación implica causalidad. *Revista Alergia México* [en línea]. vol. 66, no. 3, agosto de 2019. [Fecha de consulta: 24 de junio de 2021]. pp. 354-360.

Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/ram/v66n3/2448-9190-ram-66-03-354.pdf>

ISSN: 2448-9190

- RUTKOWSKA, Agnieszka; KOHNOVÁ, Silvia. Comparison of tests for tren in location and scale parameters in hydrological and precipitation time series. *Acta Scientiarum Polonorum* [en línea]. Issue 4 p. 41-51, 2020. [Fecha de consulta: 24 de octubre de 2021].

Disponible en: <http://acta.urk.edu.pl/COMPARISON-OF-TESTS-FOR-TREND-IN-LOCATION-AND-SCALE-PARAMETERS-IN-HYDROLOGICAL-AND,132842,0,2.html>

ISSN: 1644-0765

- SÁNCHEZ, Hugo, REYES, Carlos y MEJÍA, Katia. Manual de términos en Investigación científica, tecnológica y humanística [en línea]. Primera edición. Lima, Perú. Universidad Ricardo Palma, junio de 2018. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2021].

Disponible en:

<https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-%20investigacion.pdf>

ISBN: 978-612-47351-4-1

- SENAMHI – Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional. SENAMHI, 2021 [Fecha de consulta: 18 de Septiembre de 2021].
Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- SNIRH – Observatorio del Agua. Sistema Nacional de Información del Agua (SNIRH), 2021 [Fecha de consulta: 18 de Septiembre de 2021].
Disponible en: <https://snirh.ana.gob.pe/observatorioSNIRH/>
- Sub Sistema Oficial de Información del Agua (SOFIA). ANA, 2021 [Fecha de consulta: 18 de Septiembre de 2021].
Disponible en: <http://sofia.ana.gob.pe/public/monitoring>
- SUI, Chung-Hsiung; LI, Xiaofan; YANG, Ming-Jen. On the Definition of Precipitation Efficiency. *Journal of the Atmospheric Sciences* [en línea]. vol. 64, issue 12, diciembre de 2007. [Fecha de consulta: 23 de junio de 2021]. pp. 4506-4513.
Disponible en: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/atsc/64/12/2007jas2332.1.xml>
ISSN: 0022-4928
- SUN, J. [et al.]. Identifying changes and critical drivers of future temperature and precipitation with a hybrid stepwise-cluster variance analysis method. *Theoretical & Applied Climatology* [en línea]. Vol. 137, issue ¾, p. 2437-2450, agosto de 2019. [Fecha de consulta: 23 de octubre de 2021].
Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-018-02758-9>
ISSN: 0177-798X
- TAO, Gao [et al.]. The precipitation variability of the wet and dry season at the interannual and interdecadal scales over eastern China (1901-2016): the impacts of the Pacific. *Hydrology & Earth System Sciences* [en línea]. vol. 25, issue 3, 2021. [Fecha de consulta: 26 de junio de 2021]. pp. 1467-1481.
Disponible en: <https://hess.copernicus.org/articles/25/1467/2021/>
ISSN: 1027-5606

- UNESCO, ONU-Agua. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático [en línea]. París, Francia. UNESCO, 2020. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2021]. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373611.locale=es> ISBN 978-92-3-300136-7
- VENTURA, José. ¿Población o Muestra?: Una diferencia necesaria. *Revista Cubana de Salud Pública* [en línea]. vol. 4, no. 4, oct-dic. 2017. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2021], párr. 3. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s0864-34662017000400014&script=sci_arttext&tlng=en ISSN: 1531-3127
- XIE, Fenghua [et al.]. Is long-term climate memory important in temperature/precipitation predictions over China?. *Theoretical & Applied Climatology* [en línea]. vol. 137, issue ½, julio de 2019. [Fecha de consulta: 29 de junio de 2021]. pp. 459-466 Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-018-2608-0> ISSN: 0177-798X
- YANG, Dawen; YANG, Yuting; XIA, Jun. Hydrological cycle and water resources in a changing world: A Review. *Geography and Sustainability* [en línea]. vol. 2, issue 2, junio de 2021. [Fecha de consulta: 29 de junio de 2021]. pp. 115-122. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666683921000213> ISSN: 2666-6839
- ZHANG, Tuantuan [et al.]. Seasonal-Interannual Variation and Prediction of Wet and Dry Season Rainfall over the Maritime Continent: Roles of ENSO and Monsoon Circulation. *Journal of Climate* [en línea]. vol. 29, no. 10, 15 de mayo de 2016. [Fecha de consulta: 26 de junio de 2021]. pp. 3675-3695. Disponible en: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/29/10/jcli-d-15-0222.1.xml> ISSN: 0894-8755

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Operacionalización de Variables.

Análisis Temporal de los Años Hidrológicos de la Cuenca del Río Santa, debido a la incidencia del Cambio Climático							
Variables	Tipo de Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de Medición de Indicadores	Escala de Medición de Variable
Año Hidrológico	Cuantitativa	El año hidrológico se define como: "Periodo de un año que se inicia con un periodo de avenida y culmina con un periodo de estiaje" (COEN, 2020, p. 2).	El año hidrológico se medirá a través de los periodos de estiaje y avenida, y se analizará a través de indicadores e índices estadísticos estimados a partir de datos provenientes de la red de estaciones meteorológicas e hidrológicas de la red observacional del SENAMHI (SENAMHI, 2020, p. 2)	Épocas Estacionarias de Año Hidrológico	Época de Estiaje	Intervalo	Intervalo
					Época de Avenida	Intervalo	
				Condiciones Pluviométricas	Precipitación (mm)	Razón	

Cambio Climático	Cuantitativa	El cambio climático se define como un cambio durante un periodo prolongado en las medidas y/o la variabilidad de las propiedades del clima, esto debido a diversos factores (IPCC, 2018, p. 75).	El cambio climático se medirá a través de la variación de temperatura y precipitación en un periodo no menor a 30 años, esto según la Nota Técnica N°001-2019-SENAMHI-DMA	Periodo de Tiempo	Tiempo (años)	Intervalo	Razón
				Tendencias Climáticas	Temperatura (°C)	Razón	

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2. Tabla de Valores del SPI (McKee, 1993):

Intensidad	Categoría
$\geq +2$	Extremadamente Húmedo
1.5 a 1.99	Muy Húmedo
1.0 a 1.49	Moderadamente Húmedo
-0.99 a +0.99	Normal
-1.0 a -1.49	Moderadamente Seco
-1.5 a -1.99	Severamente Seco
≤ -2.0	Extremadamente Seco

Fuente: SENAMHI, 2020: "Condiciones Secas y Húmedas en el Perú-Año Hidrológico 2019-2020". p. 5

Anexo 3. Evidencia de falta de datos de Precipitación y Temperatura en portal del SENAMHI.

senamhi.gob.pe/?p=estaciones

Estaciones Convencionales con recepción de datos en tiempo real*
 Estaciones Convencionales con recepción de datos en tiempo diferido
 Estaciones Automáticas
 *: En Horas Establecidas 07, 13 y 19h.

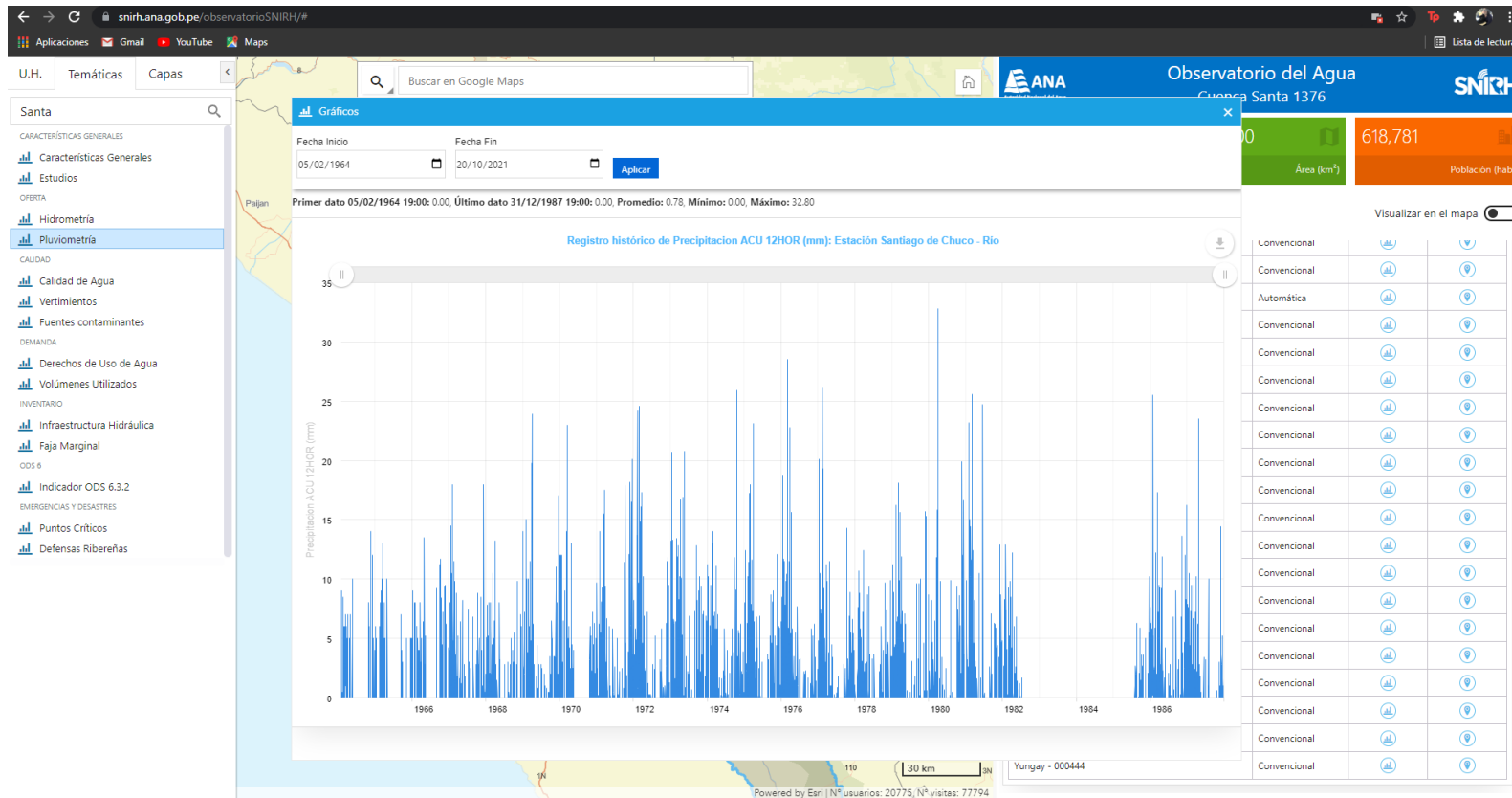
Estación : **POMABAMBA**
 Departamento : **ANCASH** Provincia : **POMABAMBA** Distrito : **POMABAMBA** Ir : 2017-01
 Latitud : **8°49'18.13" S** Longitud : **77°27'26.4" W** Altitud : **2985 msnm.**
 Tipo : **Convencional - Meteorológica** Codigo : **108017**

[Exportar a Excel](#) [Exportar a CSV](#)

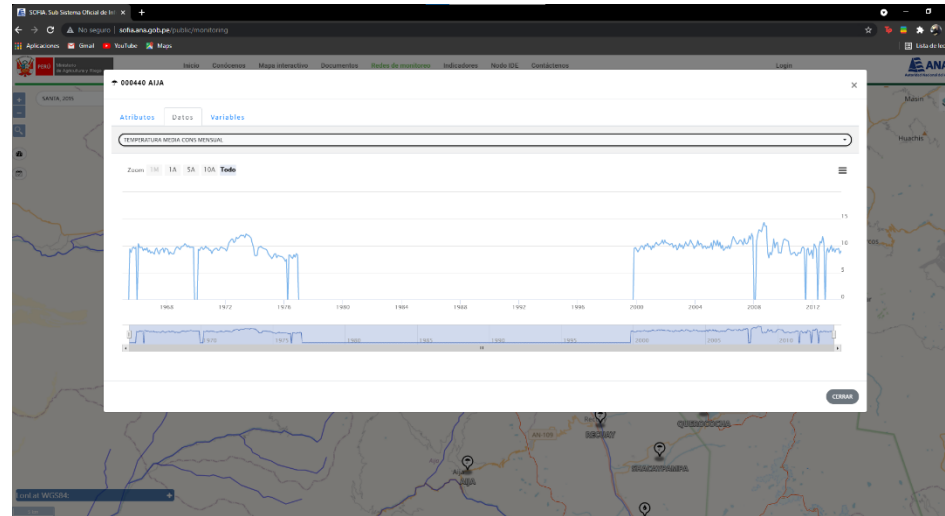
AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
2017-01-01	19.6	8.9	77.2	4.9
2017-01-02	18.4	10.2	79.6	5.0
2017-01-03	23	8	78.9	0.0
2017-01-04	23	9.8	77.3	4.1
2017-01-05	23	9.5	75.6	8.9
2017-01-06	19.2	10.2	87.5	6.3
2017-01-07	19.8	10.9	77.3	5.3
2017-01-08	20.6	11	88.8	4.8
2017-01-09	23.6	11	75.4	3.4
2017-01-10	18.6	10.2	94.5	5.5
2017-01-11	22	10.2	91.6	6.7
2017-01-12	21	10.2	81.5	23.2
2017-01-13	20.4	10.2	73.4	7.0
2017-01-14	16.4	6.8	84.6	0.4

Fuente: SENAMHI, 2021.

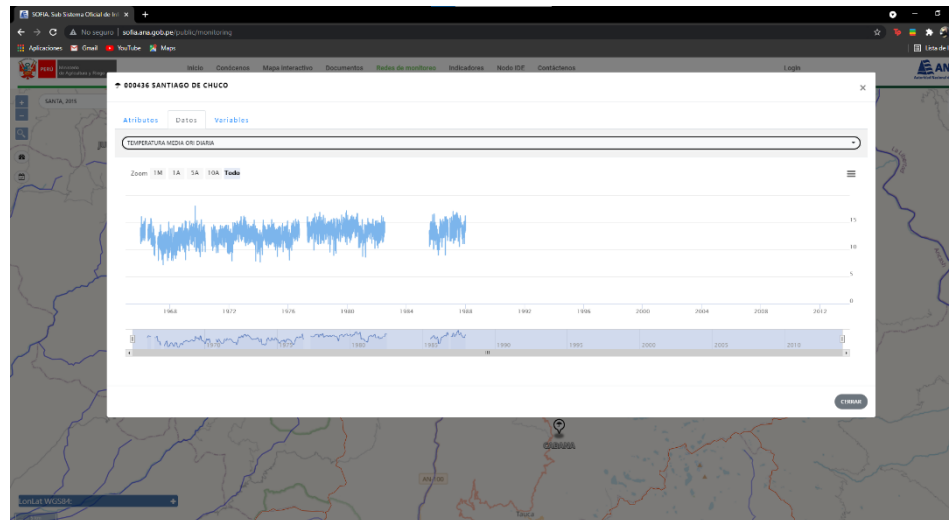
Anexo 4. Evidencia de falta de datos de Precipitación y Temperatura en portal del SNIRH-ANA



Anexo 5. Evidencia de falta de datos de Temperatura en estaciones meteorológicas del portal web SOFIA - ANA.



Fuente: SOFÍA-ANA, 2021



Fuente: SOFIA-ANA, 2021

Anexo 6. Instrumento de Recolección de Datos

"Estación" SPI	Época de Avenida				Época de Transición		Época de Estiaje			Época de Transición			
	Año/Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1981													
1983													
.													
.													
.													
2007													
2008													
2009													
2010													

Fuente: Elaboración Propia

"Estación Meteorológica"													Suma/Prom Total Año
"Variable"													
Año/Mes	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	
1981													
1982													
1983													
.													
.													
.													
2008													
2009													
2010													

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 7. Análisis de Varianza (ANOVA) – Resumen

Análisis de Varianza (ANOVA) - Tabla Resumen					
Valor P					
Precipitación	Temperatura	Precipitación por Épocas de Año Hidrológico	Temperatura Máxima por Épocas de Año Hidrológico	Temperatura Promedio por Épocas de Año Hidrológico	Índice de Sequía
0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.986

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 8. Modelo de Regresión – Resumen

Resumen de Modelo de Regresión		
R-cuadrado		
Precipitación	Temperatura	Agrupación por Método de Tukey
53.56%	97.01%	83.79%

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 9. Análisis de Varianza (ANOVA) para Modelo de Regresión Múltiple

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Regresión	11	1830762	166433	281.9	0.000
T° Prom	1	26122	26122	44.25	0.000
T° Min	1	3453	3453	5.85	0.016
T° Max	1	49390	49390	83.66	0.000
Agrup_Estació	6	416818	69470	117.67	0.000
Cod_Epoca	2	382560	191280	323.99	0.000
Error	600	354235	590		
Total	611	2184997			

Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, VILLENA TORRES PIERO ALEJANDRO estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: " Análisis Temporal de los Años Hidrológicos de la Cuenca del Río Santa, debido a la incidencia del Cambio Climático."

", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
VILLENA TORRES PIERO ALEJANDRO DNI: 72533266 ORCID 0000-0002-9395-3999	Firmado digitalmente por: PAVILLENV el 19-12-2021 23:41:40

Código documento Trilce: INV - 0569874