

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN
ESCUELA DE POSGRADO
MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE



**TENDENCIAS DE LA EVOLUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL
DE LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL MANTARO (1980-2020)**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CIENCIAS DE LA TIERRA Y
CIENCIAS AMBIENTALES**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN MEDIO
AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

TESISTA: HILARIO ADRIANO ERACLIO URBANO

ASESOR: DR. MALLMA CAPCHA TITO

HUÁNUCO – PERÚ

2023

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida y
alcanzar este propósito.

A la memoria de mis padres, Víctor y
Eusebia, por el amor, dedicación y apoyo
que me brindaron en mi formación personal
y profesional.

A mi esposa Marleny, por su apoyo y
paciencia constante por este trajinar
de la vida.

A mis hijos: Rocío, Lizbeth, Milagros y
José, por ser la razón de mi existencia.

AGRADECIMIENTO

La presente investigación ha sido un vasto proceso de aprendizaje y gracias a la ayuda de muchas personas e instituciones a quienes demuestro mi gratitud.

A la Escuela de Posgrado, Programa Doctoral en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, por brindarme la posibilidad de formarme y lograr este nivel.

Gracias a mi asesor PhD Tito Mallma Capcha, por su dirección y apoyo absoluto para lograr el presente trabajo.

Muchas gracias.

Eraclio Urbano Hilario Adriano.

RESUMEN

En presente trabajo tuvo como objetivo el estudio espaciotemporal de las sequías en la cuenca del Mantaro. Se aplicó el índice de precipitación estandarizada para uno, tres y doce meses, con la finalidad de identificar las sequías a corto, mediano y largo plazo, respectivamente. Además, con este índice se caracterizó las sequías en moderadas, severas y extremas. Para el análisis temporal se eligieron tres series representativas para la cuenca alta, media y baja. Mientras que para el análisis espacial se trabajó con todos los datos grillados de la base de datos PiscoV2, que se ubican dentro de la cuenca del Mantaro. El análisis de las tendencias se realizó mediante la prueba no paramétrica de Mann Kendall y para evaluar magnitud de la tendencia se calculó el coeficiente de Sen. Encontrándose, que el número de sequías a mediano plazo; moderadas, severas y extremas se presentan mayormente en la cuenca media, sobre todo los eventos de sequías moderadas. Para la serie sequías a mediano plazo, se observa una tendencia espacial en la cuenca baja. Esta tendencia indica un aumento de la precipitación. Para las sequías a largo plazo existe tendencias a disminuir estos eventos en la cuenca alta y baja. Mientras que no existe tendencias en la cuenca media. Estos resultados están directamente influenciados por los eventos extremos identificados en el periodo 1985 a 1995.

Palabras Clave: Sequía, IPE, Espacial, Temporal, tendencias, Mantaro

ABSTRACT

In this work, the objective was the spatio-temporal study of droughts in the Mantaro basin. The standardized precipitation index was applied for one, three and twelve months, in order to identify droughts in the short, medium and long term, respectively. In addition, this index characterized droughts as moderate, severe and extreme. For the temporal analysis, three representative series were chosen for the upper, middle and lower basin. While for the spatial analysis, we worked with all the gridded data from the PiscoV2 database, which are located within the Mantaro basin. Trend analysis was performed using the non-parametric Mann Kendall test and Sen's coefficient was calculated to assess the magnitude of the trend. Finding, that the number of droughts in the medium term; moderate, severe and extreme occur mostly in the middle basin, especially moderate drought events. For the series of medium-term droughts, a spatial trend is observed in the lower basin. This trend indicates an increase in precipitation. For long-term droughts, there are tendencies to reduce these events in the upper and lower basin. While there are no trends in the middle basin. These results are directly influenced by the extreme events identified in the period 1985 to 1995.

Keywords: drought, IPE, temporal, space, Mantaro.

RESUMO

Neste trabalho, o objetivo foi o estudo espaço-temporal das secas na bacia do Mantaro. O índice de precipitação padronizado foi aplicado para um, três e doze meses, a fim de identificar secas no curto, médio e longo prazo, respectivamente. Além disso, esse índice caracterizou as secas como moderadas, severas e extremas. Para a análise temporal, foram escolhidas três séries representativas para a bacia superior, média e baixa. Já para a análise espacial, trabalhamos com todos os dados em grade do banco de dados PiscoV2, que estão localizados na bacia do Mantaro. A análise de tendência foi realizada por meio do teste não paramétrico de Mann Kendall e o coeficiente de Sen foi calculado para avaliar a magnitude da tendência. Constata-se, que o número de secas no médio prazo; moderado, severo e extremo ocorrem principalmente na bacia média, especialmente eventos de seca moderada. Para a série de secas de médio prazo, observa-se uma tendência espacial na bacia inferior. Esta tendência indica um aumento da precipitação. Para secas de longa duração, há tendências para reduzir esses eventos na bacia superior e inferior. Embora não haja tendências na bacia do meio. Esses resultados são diretamente influenciados pelos eventos extremos identificados no período de 1985 a 1995.

Palavras-chave: seca, IPE, ARMA, bivariada, Mantaro.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
RESUMO.....	6
ÍNDICE 7	
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.1. Fundamentación del problema.....	13
1.2. Justificación e importancia de la investigación.....	13
1.3. Viabilidad de la investigación.....	13
1.4. Formulación del problema.....	14
1.4.1. Problema general.....	14
1.4.2. Problemas específicos.....	14
1.5. Formulación de objetivos.....	14
1.5.1. Objetivos Generales.....	14
1.5.2. Objetivos específicos.....	15
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Antecedentes de investigación.....	16
2.2. Bases teóricas.....	17
2.3. Bases conceptuales.....	29
2.4. Bases filosóficas.....	30
2.5. Bases epistemológicas.....	31
2.6. Bases antropológicas.....	31
CAPÍTULO III. SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	33
3.1. Formulación de la hipótesis.....	33
3.1.1. Hipótesis general.....	33
3.1.2. Hipótesis específicas.....	33

3.2. Operacionalización de las variables	33
3.3. Definición operacional de las variables	33
CAPÍTULO IV: MARCO METODOLOGÍA.....	34
4.1. Ámbito.....	34
4.2. Tipo y nivel de investigación	34
4.3. Población y muestra	35
4.3.1. Descripción de la población	35
4.3.2. Muestra y método de muestreo	35
4.3.3. Criterios de inclusión y exclusión	35
4.4. Diseño de investigación	36
4.5. Técnicas e instrumentos	37
4.5.1. Técnicas.....	37
4.5.2. Instrumentos	38
4.5.2.1. Validación de los instrumentos para la recolección de datos.....	38
4.5.2.2. Confiabilidad de los instrumentos para la recolección de datos	38
4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	38
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
5.1. Análisis descriptivo	39
5.2. Análisis inferencial y/o contrastación de hipótesis.	41
Análisis de las tendencias espacio temporales de las sequías	57
5.3. Discusión de resultados	59
5.4. Aporte científico de la investigación.....	59
CONCLUSIONES	60
SUGERENCIAS	62
REFERENCIAS	63
ANEXOS	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	24
Tabla 3.....	33
Tabla 4.....	48
Tabla 5.....	51
Tabla 6.....	54
Tabla 7.....	78
Tabla 8.....	79
Tabla 9.....	80
Tabla 10.....	80
Tabla 11.....	81
Tabla 12.....	82
Tabla 13.....	83
Tabla 14.....	84
Tabla 15.....	85
Tabla 16.....	86
Tabla 17.....	87
Tabla 18.....	88
Tabla 19.....	89
Tabla 20.....	90
Tabla 21.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>La teoría de Run y la caracterización de la sequía.</i>	25
Figura 2: Mapa de ubicación de la cuenca del Mantaro.....	34
Figura 3: Puntos de muestreo de precipitación.	35
Figura 4: Flujograma del proyecto de investigación.....	37
Figura 5 Número de sequías identificadas para el IPE-1	39
Figura 6 Número de sequías identificadas para el IPE-3	40
Figura 7 Número de sequías identificadas para el IPE-12	41
Figura 8 Precipitación media mensual en mm sobre cuenca del Mantaro para el período 1980-2020.	42
Figura 9 Ciclo anual de precipitación media mensual sobre la cuenca del Mantaro (1980 - 2020).....	44
Figura 10 Coordenadas de los puntos de muestra para el análisis temporal de sequías.	45
Figura 11 Valores IPE – 1, para el periodo en estudio (1980 - 2020).....	46
Figura 12 Tendencia de Mann - Kendall, coeficiente de Sen, para el IPE 1 en el periodo en estudio (1980 - 2020).	48
Figura 13 Valores IPE – 3, para el periodo en estudio (1980 - 2020).....	50
Figura 14; Tendencia de Mann - Kendall, coeficiente de Sen, para el IPE 3 en el periodo en estudio (1980 - 2020).	52
Figura 15; valores IPE – 12, para el periodo en estudio (1980 - 2020).	53
Figura 16; Tendencia de Mann - Kendall, coeficiente de Sen, para el IPE 12 en el periodo en estudio (1980 - 2020).	56
Figura 17; Variación espacial de la sequía (IPE-3).....	57
Figura 18; Tendencia espacial de las sequías.....	58

INTRODUCCIÓN

La cuenca del Mantaro está ubicada en la parte central del Perú, a través de ella recorre el río Mantaro de norte a sur en una longitud de 724 km. Esta cuenca es muy importante para el Perú, por los recursos agropecuarios, mineros y sobre todo por sus recursos hídricos. La cuenca del Mantaro genera 35% de la electricidad del país y trasvasa el 68% del agua que se consumen en la capital. Por lo que, cualquier impacto negativo sobre sus recursos hídricos ocasionaría grandes pérdidas económica al País.

Sin embargo, la cuenca del Mantaro está expuesta a diversos fenómenos naturales adversos, de los cual la sequía es uno de los fenómenos más devastador (Silva Vidal et al., 2006). Este fenómeno natural que se extiende de manera irregular a través del tiempo y el espacio en la cueca del Mantaro, tiene la particularidad de ser lento en su desarrollo temporal e irregular cobertura espacial (Cairampoma, 2021). Este fenómeno causa pérdidas económicas considerables (Melo et al., 2017). Por ejemplo, la sequía acontecida el año de 1990 afecto a 19 departamentos del Perú ocasiono grandes pérdidas económicas (Endara Huanca et al., 2019).

Los estudios realizados hasta ahora en la cuenca del Mantaro, han enfocado la sequía de forma temporal y no existen estudios sobre el comportamiento de estos eventos de manera espacial, tampoco existen estudios sobre sus tendencias espaciotemporales. Por lo tanto, el estudio del comportamiento espaciotemporal de este fenómeno en la cuenca del Mantaro es necesario; la comprensión de la duración, la intensidad y la severidad de la sequía de un lugar a otro y en el tiempo en la cuenca del Mantaro permitirá formular políticas que atenúen su efecto.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Fundamentación del problema

La cuenca del Mantaro está expuesta a diversos fenómenos naturales. De los cuales la sequía es uno de los fenómenos más devastadores que acontece en la cuenca (Silva Vidal et al., 2006). Este fenómeno natural que se extiende de manera irregular a través del tiempo y el espacio en la cuenca, tiene la particularidad de ser lento en su desarrollo temporal e irregular cobertura espacial (Cairampoma, 2021). Este fenómeno causa pérdidas económicas considerables (Melo et al., 2017). Por ejemplo, la sequía acontecida el año de 1990, la que afectó a 19 departamentos del Perú ocasionó grandes pérdidas económicas (Endara Huanca et al., 2019). Por lo tanto, el estudio del comportamiento de este fenómeno a nivel temporal y espacial en la cuenca del Mantaro es necesario; la comprensión de las tendencias espaciales y temporales del acontecimiento de este fenómeno en la cuenca del Mantaro permitirá formular políticas que atenúen su efecto.

1.2. Justificación e importancia de la investigación

La cuenca del Mantaro es de vital importancia para el país, debido a que ocupa los primeros lugares a nivel nacional en producción; en el sector agrícola, en el sector minero, en el sector hidroenergético. Sin embargo, estos sectores dependen de la disponibilidad hídrica de la cuenca, por lo que comprender su perturbación provocada por las sequías, es de suma importancia, más aún en estos tiempos cuando el clima está variando a nivel mundial, lo que deriva en una incertidumbre sobre el comportamiento de las sequías en la cuenca. Por lo que, el estudio del comportamiento espacial y temporal de las sequías en la cuenca del Mantaro se hace necesario.

1.3. Viabilidad de la investigación

El estudio de las sequías a nivel espacial y temporal en la cuenca del Mantaro es viable, por la disponibilidad de los datos de precipitación (1980-2020) del sistema grillado del SENAMHI. Adicionalmente se cuenta con los datos climáticos de la estación de Huayao, para la validación de los datos provenientes del sistema grillado. También se

encuentra disponible el shapefile de las zonas climáticas de la cuenca (SENAMHI, 2021). Con respecto a los programas que se utilizaran en el procesamiento de datos, estos son de código abierto como el R. finalmente se tiene el presupuesto para realizar el presente estudio.

1.4. Formulación del problema

Las sequías son reconocidas como un desastre ambiental en la cuenca del Mantaro, sus efectos negativos inciden directamente en la disponibilidad de los recursos hídricos, lo cual afecta al sector agropecuario, minero y la disponibilidad de agua potable para las poblaciones ubicadas en la cuenca. Pero también afecta a la capital, que aprovecha de los recursos hídricos de la cuenca mediante trasvases ubicadas en la cuenca alta. El inicio, desarrollo y fin de un evento de sequía es poco entendida en la cuenca del Mantaro, tanto de manera espacial y temporal. Mas aun en estos últimos años existe una incertidumbre sobre su tendencia y severidad debido al cambio climático. Por lo que este estudio propone estudiar las tendencias de las sequías de manera espacial y temporal.

1.4.1. Problema general

¿Cuál es la tendencia temporal y espacial de las sequías en la cuenca del Mantaro?

1.4.2. Problemas específicos

¿Cuántas sequías acontecieron en la cuenca del Mantaro en el periodo 1980 - 2020?

¿Cuál es la tendencia espacial de las sequías en la cuenca del Mantaro para el período 1980-2020?

¿Cuál es la tendencia temporal de las sequías en la cuenca del Mantaro para el periodo 1980-2020?

1.5. Formulación de objetivos

1.5.1. Objetivos Generales

- Caracterizar espacio temporal las sequías en el Perú basado en su duración, intensidad, severidad, utilizando el índice de precipitación estandarizado de 1, 3 y 12 meses en el periodo de 1980-2020.
- Determinar la tendencia espaciales y temporales de las sequías para el periodo de 1980-2020.

1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las sequías en la cuenca del Mantaro usando el índice de precipitación estandarizado
- Determinar las tendencias espacialmente de las sequías en la cuenca del Mantaro para el período 1980-2020.
- Determinar las tendencias temporalmente de las sequías en la cuenca del Mantaro para el periodo 1980-2020.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

a) A nivel nacional

Uno de los trabajos enfocados en analizar las sequías en la cuenca del Mantaro, en la cuenca alta, conjuntamente con las cuencas Chillón, Rímac y Lurín fueron realizados por Acuña et al. (2015). Donde analizaron regionalmente las frecuencias de precipitaciones anual para la determinación de mapas de sequías, encontrando que la cuenca alta del Mantaro es vulnerable a los eventos de sequías. Sin embargo, este estudio tiene sus limitaciones con respecto a la cuenca del Mantaro al no abarcar su totalidad, y también por no haber caracterizado los eventos de sequías.

Otro estudio de sequías en la cuenca del Mantaro fue realizado por Gálvez Ayala (2017), en cuya tesis caracteriza las sequías históricas, también caracteriza las sequías proyectadas bajo distintos escenarios de cambio climático para la cuenca del Mantaro. Este estudio caracteriza las sequías bajo un enfoque espacial y también temporal. Analizando información de lluvias mensualmente acumuladas de 37 estaciones con un registro histórico que va de 1970 al 2010. También analiza los datos de lluvias proyectada en base a seis escenarios de cambio climático. Uno de los resultados obtenidos en este estudio fue en contra que las tendencias de los eventos de sequía a corto plazo son significativas. Así mismo, mientras que a largo plazo la tendencia indica que se incrementa el número de eventos secos en zonas parciales de la cuenca.

Cairampoma Amaro (2021) analizó las sequías en la integridad de cuenca del Mantaro bajo un enfoque estadístico bivariado, en su tesis titulada Análisis bivariado de sequías usando series sintéticas en la cuenca del río Mantaro, una de sus conclusiones indica que los eventos de sequía moderados son más ocurrentes en la cuenca Baja y media a diferencia de la Cuenca Alta. Además, para los eventos extremos, encontró que no existe diferencias. Sobre la ocurrencia los eventos severos correspondientes a las sequías a largo plazo (IPE 12), que son las más devastadoras, acontecen con más frecuencia en la cuenca baja y media este. Con relación a los eventos extremos, que abarcando toda la cuenca. Sin embargo, los resultados se hicieron sobre 46 series de datos meteorológicos.

b) A nivel internacional

Las sequías son un fenómeno natural que afecta a nivel mundial, por lo que existe numerosos estudios a este nivel, siendo uno de los objetivos comprender el comportamiento a nivel espacial y temporal de las sequías. En este contexto Sirdaş y Sen (2003), analizan las sequías en función de sus propiedades obtenidas a partir del análisis de series hidrológicas. Además, el kriging se utiliza como análisis de sequía espacial para el mapeo. Este estudio fue realizado en función de los registros de precipitación de Estambul, Edirne, Tekirdag y Kirklareli en la región de Trakya, Turquía, obteniéndose resultados satisfactorios tanto en el análisis temporal y espacial.

Otro estudio con el mismo objetivo de comprender el desarrollo de las sequías de manera temporal y espacial, fue realizado por Dabanlı et al. (2017) en Turquía, en su estudio analizaron la variabilidad espacio temporal de la sequía evaluando 250 registros de estaciones distribuidos homogéneamente desde 1931 hasta 2010 durante 80 años. El análisis de sequía lo realizaron en función del índice de precipitación estandarizado. Encontrando que existe una alta correlación espacial del comportamiento de las sequías.

2.2. Bases teóricas

Sequías

La sequía es un peligro natural y es uno de los fenómenos menos comprendidos y manejables que afectan al mundo actual. La vulnerabilidad a la sequía aumenta a medida que el clima mundial varía, la población humana se expande, los recursos hídricos se ven sometidos a una presión cada vez mayor para usos alternativos y las personas usan el agua de muchas maneras diferentes y aplican demandas alternativas en relación con el consumo humano; incluido el agua potable y el saneamiento, usos industriales, sistemas de producción agrícola y requisitos ambientales tales que no existe una definición universal de sequía (Melo et al., 2017).

Tipos de sequías

Las sequías son una parte normal de la variabilidad climática y generalmente se reconocen en todo el mundo como una falta de precipitaciones; sin embargo, esta no

es la única descripción que se puede aplicar para definir qué es una sequía y el efecto que tiene a nivel local o regional (Melo et al., 2017).

La definición precisa y universalmente de sequía es otro problema que se suma a la confusión sobre la existencia y el grado de severidad de la sequía. Debido a que la sequía depende del clima, su definición también debe considerar las características climáticas locales y regionales. Por otro lado, la sequía implica diferentes significados e implicaciones para un administrador de agua, un agricultor, un operador de planta de energía hidroeléctrica y un biólogo de vida silvestre. Entonces El impacto de las sequías se siente en diferentes sectores, lo que hace prácticamente imposible establecer una definición universal de sequía. Por lo tanto, es necesario definir diferentes tipos de sequía en función de su impacto en un sector específico. Históricamente, las definiciones de sequía se han clasificado en meteorológicas, agrícolas, hidrológico y socioeconómico (Mishra and Singh, 2010).

Sin embargo, algunos investigadores han discutido sobre la expansión de la definición para incluir otras áreas críticas, como las aguas subterráneas y los aspectos ecológicos y ambientales. Tal argumento está bien justificado y nos permitirá hacer una distinción más clara y, en consecuencia, comprender la propagación de la sequía. Sin embargo, hasta la fecha, aún no se ha alcanzado dicho consenso en la comunidad de sequía. El presente estudio se centra en la sequía meteorológica, que es el resultado de la deficiencia de precipitaciones (Mishra y Singh, 2010).

a. Sequía meteorológica

Las sequías meteorológicas se definen objetivamente considerando las variaciones temporales de precipitación en cualquier estación meteorológica. Como la lluvia es un elemento meteorológico y su generación depende en segundo plano del ciclo hidrológico y en primer plano de la formación de nubes y de la condensación de vapor de agua en las nubes, estas sequías pueden considerarse peligros relacionados con la atmósfera. Los déficits de precipitaciones son los indicadores de las sequías meteorológicas. Estos déficits dependen de muchos factores, como la recarga natural de aguas subterráneas, el mantenimiento de la humedad del suelo, el soporte de la vida vegetal y la generación de flujo superficial. Las sequías meteorológicas son las iniciadoras de otros tipos de sequía; por lo tanto, tienen el menor potencial de desastre. Por ejemplo, la lluvia no suministra agua a las plantas,

pero el suelo alimentado por la lluvia sí lo hace. Por lo tanto, incluso durante los períodos de déficit de lluvia, el suelo seguirá proporcionando agua a las plantas por un período más prolongado. Asimismo, las lluvias no suministran agua directamente para riego, usos domésticos o industriales. Las fuentes naturales de agua no son las lluvias sino los ríos, lagos y aguas subterráneas. Esto implica que, en casos de precipitaciones insuficientes, la demanda de agua puede obtenerse de otros recursos como el caudal superficial, lagos o embalses de aguas subterráneas (Şenaut, 2015).

b. Sequía hidrológica

Las sequías hidrológicas están más relacionadas con las demandas de agua y aparecen siempre que se aprecia una marcada reducción de los caudales naturales o de los niveles freáticos, más el agotamiento de los depósitos de agua en embalses y lagos para el abastecimiento de agua. Por lo tanto, las sequías hidrológicas son muy importantes y significativas para las áreas urbanas o regiones industrializadas, así como para las actividades agrícolas. El principal impacto de las sequías hidrológicas es sobre los sistemas de recursos hídricos. Por lo tanto, la contaminación de los recursos hídricos también exacerba la situación de sequía hidrológica (Mishra and Singh, 2010).

c. Sequía agrícola

Las sequías agrícolas se definen principalmente al considerar la disponibilidad de agua y humedad del suelo para apoyar el crecimiento de los cultivos en lugar de las características de las precipitaciones. Los usos del agua del suelo y de las plantas no están directamente relacionados solo con la precipitación y su consiguiente infiltración en el suelo, porque las tasas de infiltración varían según las condiciones de humedad antecedentes, la pendiente, el tipo de suelo y la intensidad del evento de precipitación. Las capacidades de almacenamiento y transmisión de agua del suelo varían de un lugar a otro además de las variaciones temporales. Los suelos con baja capacidad de retención de agua son más propensos a la ocurrencia de sequías. Las pérdidas económicas causadas por las sequías agrícolas son principalmente la reducción en la producción de cultivos, ganado, bienes industriales, navegación por vías fluviales y energía hidroeléctrica (Şenaut, 2015).

d. Sequía socioeconómica.

La sequía socioeconómica como se define como la sequía asociada a la oferta y la demanda de algún bien económico relacionada a las sequías meteorológicas, hidrológicas y agrícolas. Se diferencia de los tipos de sequía antes mencionados porque su ocurrencia depende de los procesos temporales y espaciales de oferta y demanda para identificar o clasificar las sequías. La provisión de muchos bienes económicos, como agua, energía eléctrica, productos agrícolas, como el arroz, maíz, papa, etc. Depende del clima. Sin embargo, debido o causado por la variabilidad natural del clima, la dotación de agua es abundante en algunos años, pero incapaz de satisfacer las necesidades humanas y ambientales en otros años. Es más, debido a los cambios del clima los patrones de disponibilidad y escases de agua han cambiado. La sequía socioeconómica ocurre o acontece cuando la demanda de un bien económico excede la oferta como resultado de un déficit en el suministro de agua relacionado con el clima (Frick et al., 1990).

Análisis e identificación de sequía

La identificación, cuantificación y evaluación de la sequía se puede implementar mediante el uso de indicadores y/o índices. Los índices de sequía son medidas de las variables climáticas, que describen las características de la sequía y proporcionan una indicación del estrés o deficiencia potencial relacionado con la sequía. El análisis, la interpretación y la agregación de datos conducen a indicadores de sequía, donde varios de ellos pueden sintetizarse en el desarrollo de un índice de sequía. De hecho, un índice es un método para derivar información de "valor agregado" relacionada con la sequía y constituye un intento de identificar, cuantificar y evaluar una sequía y su magnitud. También es importante señalar que los índices también son indicadores. Siempre se requieren aclaraciones sobre la validez científica y operativa de un índice, es decir, cómo se combina y pondera cada indicador en el índice y cómo se relaciona un valor de índice con las características geofísicas y estadísticas de la sequía (Zargar et al., 2011).

Caracterización de las sequías

Eslamian y Eslamian (2017) mencionan que para evaluar y monitorear los peligros de sequía y aliviar su impacto, es necesario detectar varias características de la sequía, como la gravedad, la duración, la periodicidad, la extensión del área, el inicio y la hora de finalización. De hecho, los datos y métodos convencionales y/o de teledetección pueden usarse para delinear la variabilidad espacial y temporal de varias características de sequía en términos cuantitativos. A continuación, se incluye una breve descripción de algunas características clave:

La severidad o intensidad de la sequía; se refiere al grado del déficit de precipitación y/o la severidad del impacto asociado con el déficit. La severidad de la sequía se define como la escalada del fenómeno en clases, tales como leve, moderada, severa y extrema. La severidad generalmente se determina a través de indicadores e índices de sequía, que incluyen las clases mencionadas anteriormente. En efecto, la severidad se mide por la desviación de algún parámetro climático, como la precipitación; indicador, como el nivel del depósito; o índice, como Índice de precipitación estandarizado (IPE), de lo normal y está estrechamente relacionado con la duración en la determinación del impacto. Las regiones afectadas por sequías severas evolucionan gradualmente, existiendo un desplazamiento estacional y anual del llamado epicentro, que es la zona de máxima severidad. No existe una única técnica unificadora para cuantificar la severidad de la sequía.

Tiempo entre sequías; se considera el intervalo de recurrencia de la sequía. De hecho, la frecuencia de un evento extremo, como la sequía, generalmente se expresa por su período de retorno o intervalo de recurrencia, que puede definirse como el intervalo de tiempo promedio dentro del cual se alcanza o se excede la magnitud del evento una vez. La magnitud de un evento extremo está dada por la profundidad total que ocurre en una duración particular, y los datos para eventos extremos, como las sequías, generalmente se pueden presentar mediante curvas de severidad-duración-frecuencia para varios sitios a lo largo de una región.

Duración; o episodio de sequía, se define como el intervalo de tiempo desde el inicio hasta el final, expresado generalmente en meses. Las sequías generalmente requieren un mínimo de 2 a 3 meses para establecerse y pueden continuar durante meses o años. Dado que la sequía es un fenómeno complejo, la evaluación del tiempo de inicio y finalización es un tema técnico complicado. Además, la magnitud de los impactos de

la sequía está estrechamente relacionada con el momento del inicio de la deficiencia de precipitaciones, su gravedad y la duración del evento.

Inicio o el comienzo; una sequía está determinado por la ocurrencia de un episodio de sequía. El inicio de una sequía se evalúa a través de indicadores o índices que alcanzan cierto valor umbral. Por otro lado, el tiempo de finalización de un episodio de sequía significa la terminación de la sequía basándose nuevamente en los valores de umbral de los indicadores o índices. Por lo general, es difícil determinar el inicio y el final de una sequía y sobre qué criterios se deben hacer estas determinaciones. Además, se debe considerar si el final de la sequía viene señalado por un retorno a la precipitación normal y cuál es el período de tiempo requerido de precipitación normal para que la sequía termine. De manera similar, también se debe considerar si se requiere que los embalses y los niveles de agua subterránea regresen a condiciones promedio o normales.

Extensión; es la cobertura espacial del fenómeno, ya que se cuantifica en clases de severidad mediante indicadores o índices. La teledetección ha contribuido significativamente en la delimitación de este parámetro al contar el número de píxeles en cada tipo de sequía. Se reconoce que las sequías también se diferencian por sus características espaciales. Cabe mencionar que la extensión del área de las sequías severas evoluciona gradualmente y varía con el tiempo, pasando de una estación a otra y de un año a otro. Además, la diversidad climática y el tamaño de grandes regiones, justifican la ocurrencia de sequía todos los años; sin embargo, no se espera que afecte a toda la región.

Índices Meteorológicos de Sequía

Los índices meteorológicos de sequía se pueden utilizar para proporcionar información oportuna sobre la sequía para la toma de decisiones. Cabe señalar que un valor de índice de sequía se considera mucho más útil que los datos sin procesar, especialmente en el caso del monitoreo de sequía para la toma de decisiones casi en tiempo real. Además, varios otros usos de un índice meteorológico de sequía implican la evaluación de umbrales para una serie de características de la sequía, como el inicio, la gravedad, la magnitud, la duración y la hora de finalización. Además, un índice de sequía también se puede utilizar como información de verificación de campo para los esfuerzos de modelado o detección remota de varias características de sequía (Zargar et al., 2011).

Índice de precipitación estandarizado (IPE)

En 1993, un grupo de científicos procedentes de la Universidad Estatal de Colorado desarrolló un nuevo índice de sequía, llamado Índice de Precipitación Estandarizado (IPE), también conocido SPI por sus siglas en inglés. Amplios estudios mostraron que las sequías están altamente correlacionadas con la precipitación en ciertas escalas de tiempo; casi siempre de tres a doce meses. Por lo tanto, un índice basado enteramente en la precipitación, abordaba muchas de las debilidades asociadas con otros índices. El IPE tiene la intención de brindar una respuesta directa a las preguntas que plantean con mayor frecuencia los administradores del agua. Las diferentes escalas de tiempo están diseñadas para reflejar los impactos de los déficits de precipitación en diferentes recursos hídricos. Por ejemplo, las condiciones de humedad del suelo responden a anomalías de precipitación en una escala relativamente corta, mientras que el agua subterránea, el flujo de corrientes y el almacenamiento en embalses reflejan anomalías de precipitación a más largo plazo. El IPE se basa en un registro de precipitaciones a largo plazo, por lo general durante al menos 30 años de duración normal (McKee et al., 1993).

Cálculo de IPE

El IPE cuantifica el déficit de precipitación para múltiples escalas de tiempo, como períodos de 3, 6, 9 y 12 meses, en relación con los mismos meses históricamente. Idealmente, se necesitan al menos 20 a 30 años de valores mensuales completos en serie, siendo 50 a 60 años (o más) lo más óptimo y preferido. Los datos históricos de precipitaciones de la estación se ajustan a una distribución gamma. Esto se lleva a cabo a través de un proceso de estimación de máxima verosimilitud de los parámetros de distribución gamma, β y γ , de acuerdo a la siguiente formula:

$$P(x) = \frac{x^{\gamma-1} \exp\left(\frac{-x}{\beta}\right)}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \text{ donde } \lambda > 0$$

Donde; $P(x)$ es la función de densidad de frecuencia Gamma.

McKee et al. (1993) utilizó un sistema de clasificación para definir las severidades de sequía resultantes del IPE. Este índice se calcula dividiendo la diferencia entre la

precipitación estacional normalizada y su media estacional a largo plazo por la desviación estándar definida en la siguiente ecuación:

$$IPE = \frac{x_{ij} - x_{im}}{\sigma}$$

Donde: x_{ij} es la precipitación estacional en meses, x_{im} es la media estacional a largo plazo, σ es la desviación estándar

Un evento de sequía ocurre cada vez que el IPE es continuamente negativo y alcanza una intensidad de -1.0 o menos. El evento finaliza cuando el IPE se vuelve positivo. Aquí es donde el IPE tiene una gran utilidad. Cada evento de sequía, por lo tanto, tiene una duración definida por su inicio y fin e intensidad por cada mes que continúa el evento. La suma positiva del IPE para todos los meses dentro de un evento de sequía se puede denominar la "magnitud" de la sequía. Este índice se puede usar para monitorear condiciones tanto secas como húmedas. Otra razón del atractivo del IPE es que el índice se puede calcular con datos faltantes. No obstante, el IPE es flexible y se puede calcular tanto para períodos de corto como de largo plazo seleccionando diferentes pasos de tiempo. Inicialmente, el IPE se ha calculado para períodos de 1 a 72 meses, pero se utiliza principalmente para períodos de 24 meses o menos. Esta flexibilidad ha permitido que el IPE sea muy útil para monitorear sequías no solo meteorológicas sino también agrícolas e hidrológicas, donde las escalas de tiempo y los impactos son variables. En la Tabla 1, se muestran las siete clases del índice de precipitación estandarizado.

Tabla 1

Escala de clasificación del índice de precipitación estandarizada

Valor del IPE	Nivel de humedad
> de 2	Extremadamente húmedo
1.50 a 1.99	Muy húmedo
1.00 a 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Normal
-1.00 a -1.49	Sequía moderada
-1.50 a -1.99	Sequía severa
< -2.00	Sequía extrema

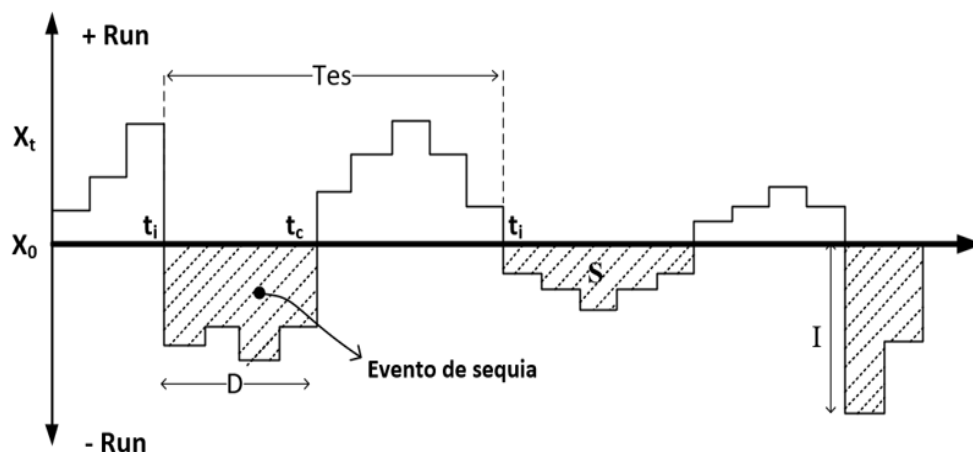
Nota. Modificado de McKee et al. (1993)

Características de las sequías de acuerdo con IPE

Según Yevjevich (1967) el estudio de las sequías consiste en definir el tiempo entre sequías (Tes), la severidad (S) e intensidad (I) y su duración (D), la identificación de estas variables de las sequías se llama caracterización. En la Figura 2 se muestra un gráfico donde se representa a la sequía como una variable hipotética denotada por X_t . Esta variable sigue su desarrollo a lo largo del eje x (nivel de truncamiento X_0), con la que se cruza en muchos lugares. Este es el elemento más básico para derivar los parámetros de la sequía, el cual puede ser constante o estar en función del tiempo. Bajo este enfoque, se delimita de forma temporal el evento de sequía, para lo cual se usa la teoría de corrida (*Run*, por su traducción en al inglés). Definiéndose evento como el intervalo de la serie de tiempo de la variable X_t , cuando esta toma valores que se encuentran por debajo o por encima del nivel de truncamiento seleccionado. Pudiendo haber *Run* negativas; señalando escases de agua, cuando se encuentra por debajo del umbral y *Run* positivas; señalando exceso de agua, si se encuentran por encima del umbral.

Figura 1

La teoría de Run y la caracterización de la sequía.



Nota. En la figura t_i es tiempo de inicio de la sequía, t_c es tiempo de finalización de finalización de la sequía, D es duración de la sequía, I es intensidad de la sequía. Modificado de Mishra y Singh (2010)

Dracup *et al.* (1980) estudia los parámetros estadísticos relacionados con los eventos de sequía. Identificando los siguientes parámetros, duración del evento de sequía, a la

magnitud y la intensidad de un evento. Estos parámetros tienen los siguientes componentes principales que se describen a continuación.

- a) t_i es tiempo de inicio de la sequía, está definido por el instante de inicio del período de escasez de agua. Este parámetro indica el inicio de la sequía.
- b) t_e es el tiempo de finalización de la sequía, está definido por el instante en que la escasez de agua disminuya al punto de que las condiciones de sequía ya no persistan, culminando el evento de sequía.
- c) D es Duración de la sequía, está definido como el lapso de tiempo durante el cual los valores del parámetro de sequía se encuentran continuamente por debajo del nivel crítico. Este intervalo de tiempo está limitado entre el inicio y la finalización de una sequía, por lo general se expresa en años, meses o semanas, etc.
- d) S es severidad de la sequía, está definido como la suma de todos los valores del parámetro de sequía que se mantienen por debajo del nivel crítico establecido.
- e) I es intensidad de la sequía, este parámetro está definido como valor mínimo entre todos los valores que se encuentran por debajo del nivel crítico.

Esta metodología de la teoría de la corrida ha sido aplicada en varios trabajos de investigación para modelar y analizar los parámetros de las sequías (Sen, 1976; Dracup *et al.*, 1980; Loaiciga y Leipnik, 1996; Mishra y Desai, 2005; Panu y Sharma, 2009).

Series temporales y su análisis en la identificación de sequías

Las series temporales hidrológicas tienen observaciones o mediciones organizadas en un orden cronológico secuencial. Vale la pena señalar que tal forma de organización en el tiempo también puede ser reemplazada por el espacio, distancia, longitud, incluso ampliada para abarcar el tiempo y el espacio. Debido a las restricciones prácticas impuestas por los procedimientos de observación o de procesamiento de datos, los registros secuenciales de las series de tiempo suelen estar separados por intervalos de tiempo o distancia. En la mayoría de los casos, estos intervalos de tiempo que separan registros van de días, meses, años, etc. pero también de menor duración. En algunos otros casos, particularmente para las variables de calidad del agua, se toman registros a intervalos de tiempo irregulares, en la presente tesis se ha considerado la serie temporal de precipitación en días y meses para el análisis de sequías.

Test de homogeneidad o consistencia de las series de tiempo

Para el cálculo del IPE se requiere datos de lluvia homogéneos y consistentes; sin embargo, las series temporales de precipitación son por lo general no homogéneas y tampoco son consistentes. Esto es debido a factores naturales o procesos antropogénicos, como los errores al momento de la toma de datos. Las series climáticas de precipitación no homogéneas van acumulando sistemáticamente los errores, los que llegan a afectar varias características de las series tal como la media, desviación estándar, correlación serial, las tendencias. Además, pueden motivar en la presencia de datos atípicos. Por consiguiente, el primer análisis que se debe realizar a una serie de precipitación es la identificación, descripción y remoción de la no homogeneidad (Salas et al., 1980).

Existen varios métodos para identificar la no homogeneidad en los datos de precipitación mensual. Uno de estos métodos es el análisis gráfico, el cual se utiliza al inicio de cualquier análisis de serie de precipitación o cualquier otra serie en hidroclimatología, con el objetivo de preliminar de observar el comportamiento de la serie temporal. Otro método, es la curva de doble masa que consiste en trazar los valores acumulados de la estación considerada confiable contra los valores acumulados de un conjunto de estaciones vecinas. Por lo general los el grafico tiende a ser una línea recta siempre y cuando la serie sea homogénea. Si la gráfica no es una línea recta y por lo contrario muestra quiebres, se dice que los datos de la estación evaluada no son homogéneos. Un alternativa a este método doble masa se trazar las desviaciones acumuladas de algún valor promedio, esto tiene la ventaja de que los cambios en la cantidad media dela serie de tiempo en estudio son más fáciles de identificar, la gráfica de las desviaciones acumulativas también se denomina curva de masa residual (Buishand, 1982).

Si una serie de tiempo hidro climática homogénea indica que todos los datos recopilados pertenecen a una misma población; en termino estadística, con la media invariante en el tiempo. Por lo que, existe una variedad de pruebas estadísticas para verificar la homogeneidad de un conjunto de datos de precipitación. Estos se basan en la evaluación del cambio en el valor medio, las más usadas en análisis hidrológico son: la relación de Von Neumann, Buishand, Standard normal (SNHT) y Pettitt. Se debe tener en cuenta que estas cuatro pruebas son complementarias, por ejemplo, las pruebas de Buishand, SNHT y Pettitt identifican si hay saltos en la serie de

precipitación, además identifican el punto de dicho salto. Mientras que la prueba de Von Neumann proporciona información sobre cuándo se deteriora la homogeneidad. Por lo que, el uso de estas pruebas se debe hacer en conjunto, para un mejor análisis de la serie de precipitación (Arikan et al., 2018).

Análisis de la estacionariedad

Una serie de precipitación, ya sea anual, mensual o diaria. Es estacionaria, si sus propiedades estadísticas no se alteran con el tiempo. De tal forma que, si se selecciona dos intervalos de tiempo no superpuestos de una serie de precipitación, las dos subseries generadas se verán casi idénticas, en un análisis de gráfico. Es más, las dos subseries podrían diferir visualmente unas de otras, pero se dispersarán alrededor del mismo valor medio. Por lo que, una serie temporal de precipitación es estacionaria cuando no tiene tendencia o componente periódico. Existen dos enfoques para confirmar la estacionariedad de las series de tiempo de precipitación: la primera, es el enfoque paramétrico generalmente se utiliza en el dominio del tiempo; la segunda, es el enfoque no paramétrico el cual es comúnmente utilizado en el dominio de la frecuencia. En series de tiempo hidrológicas, se utilizan ambos criterios. Las pruebas no paramétricas, tienen la ventaja de no se basarse en la suposición de que la población se distribuye normalmente, por lo que, estas pruebas se aplican más que las pruebas paramétricas. Sin embargo, las pruebas no paramétricas son menos robustas que las pruebas paramétricas. Se puede llegar a la misma conclusión con el mismo nivel de confianza con ambos enfoques, teniendo en cuenta que una prueba no paramétrica requiere entre 5 a 35 por ciento más de datos que las pruebas paramétricas (Bethea, 1995).

Análisis de tendencias Mann – Kendall

La precipitación es la variable sobre la que se determina el Índice de Precipitación Estandarizado; este nos indica cuando empieza una sequía, su duración, su intensidad y el tiempo en que termina. Por lo que los cambios en el patrón de precipitaciones pueden mostrarnos el cambio de las sequías. Por lo tanto, las tendencias espaciales y temporales de los resultados de precipitación son importantes para los analistas de las sequías tanto temporalmente y espacial (Silva et al., 2008).

Para detectar la tendencia y el cambio de tendencia de las series históricas de precipitación, a lo largo de los años se han desarrollado y utilizado diversos métodos estadísticos. De los dos métodos comúnmente utilizados; paramétrico y no paramétrico, el método no paramétrico ha sido favorecido sobre los métodos paramétricos. La prueba estadística no paramétrica de Mann-Kendall (Mann 1945; Kendall 1975) se ha utilizado con frecuencia para cuantificar la importancia de las tendencias en las series temporales de precipitación. La prueba Mann-Kendall requiere que la serie de tiempo sean independientes en serie, lo que se puede lograr utilizando la técnica de pre blanqueamiento. El análisis de tendencias a largo plazo puede revelar el comienzo del año de tendencia, los cambios de tendencia a lo largo del tiempo y la detección abrupta de tendencias en una serie temporal. En este estudio se utilizaron dos métodos no paramétricos; El método de Mann-Kendall y el estimador de pendiente de Sen, para detectar las tendencias de las variables meteorológicas (Yue et al., 2002).

Análisis de Sen

La prueba Mann-Kendall no proporciona una estimación de la magnitud de la tendencia en sí. Para este propósito, se utilizan otro método no paramétrico denominado coeficiente de Sen, la cual cuantifica la pendiente de la tendencia, ósea la magnitud con que va cambiando la serie. El coeficiente de Sen es utilizado en cuantificar el cambio que tiene una serie temporal. Este enfoque proporciona una estimación de la pendiente más robusta que cualquier otro método, la prueba coeficiente de Sen requieren que las series de tiempo sean independientes (Dwivedi and Shrivastava, 2019).

2.3. Bases conceptuales

Clima

El clima es el tiempo promedio en un área determinada durante un período de tiempo más largo. La descripción de un clima incluye información sobre; la temperatura media en las diferentes estaciones, las precipitaciones y la insolación. También se suele incluir una descripción de los extremos. El cambio climático es cualquier cambio sistemático en las estadísticas a largo plazo de las variables climáticas, como la temperatura, la precipitación, la presión o el viento, sostenido durante varias décadas o más. El cambio climático puede deberse a forzamientos externos naturales; cambios

en la emisión solar o cambios en la órbita terrestre, procesos internos naturales del sistema climático o puede ser inducido por el hombre.

Precipitación

Es la caída al suelo del agua contenida en la atmósfera. Puede ser en forma de agua, de nieve, de brumas o de rocío y se produce cuando la atmósfera no puede contener más agua y esta se condensa y precipita. Se mide en litros por metro cuadrado de superficie (l/m^2), o su medida equivalente milímetros de altura del agua caída (mm). El instrumento de medición es el pluviómetro.

Sequías

Definir la sequía puede ser difícil. Por ejemplo, aunque las sequías son eventos naturales que los humanos no pueden controlar, la forma en que las personas usan el agua puede empeorar aún más las consecuencias de una escasez natural de agua como la sequía. Entonces, si decimos que una sequía es cuando no hay suficiente agua, sin embargo, una cantidad par algunos pueden ser suficiente y esa misma cantidad no puede ser suficiente para otros, Por eso la sequía se describen de manera conceptualmente, como una idea o concepto; y operativamente, por cómo funciona u opera la sequía en formas que pueden medirse.

Cuenca

Existe una diversidad de definición de cuenca hidrográfica, Vásquez et al. (2016) define cuenca hidrográfica como una zona de la superficie terrestre donde las gotas de lluvia que caen sobre ella son drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto congruente de salida. Es decir, una cuenca es una especie de “embudo” del territorio por el que escurre el agua desde las partes altas, hasta llegar a un punto en común. Así mismo, los límites de una cuenca constituyen el perímetro del área que drena a un punto, lo que se conoce como “parteaguas” o “divisorias de aguas”. Este límite conformado por una línea imaginaria une los picos de las elevaciones de terreno por cuyas laderas escurre el agua hacia el cauce principal de salida de la propia cuenca, o hacia su centro, en caso de ser cerrada.

2.4. Bases filosóficas

En el aspecto filosófico las sequías han sido conceptualizadas de acuerdo al tiempo y desarrollo de cada cultura que ha sido afectada por estos eventos. Siendo vinculado al castigo divino y como tal buscaban apaciguar dicho castigo con rituales y sacrificios,

para ponerle fin a un evento de sequía se imploraba a los seres “superiores”, en otros casos se buscaba la intermediación divina para tener abundancia de lluvias y buenas cosechas. Sin embargo, con el devenir de los tiempos estas concepciones han sido olvidadas, pero debemos tener en cuenta que ha cumplido la función de permitir un mecanismo preventivo por medio de ritos que ha propiciado la calma y tranquilidad de los pobladores antiguos, siendo totalmente ilusorios, han proporcionado una seguridad psicológica a individuos a pueblos indefensos. Esta función de las creencias religiosas con respecto a los fenómenos naturales, como son las sequías, sigue estando presente en las sociedades actuales, que continúan creando mitos, ahora influenciados por otras culturas. Es evidentemente que la religión tuvo una importancia mucho mayor durante las épocas prehispánica y colonial, con relación de la conceptualización de los fenómenos naturales extremos, pero a partir del siglo XIX se observa un cambio de una visión religiosa-sobrenatural a una más técnica-gubernamental, y esta tendencia perdura hasta nuestros días, donde la explicación de los eventos de sequías se realizan en el marco del método científico.

2.5. Bases epistemológicas

Desde un punto filosófico la ocurrencia de la sequía es de acuerdo con Ortega-Gaucín (2018). La oportunidad de estudiar sus causas, efectos y particularidades, desde una perspectiva objetiva y rigurosamente científica e imparcial, con la aplicación de metodologías fundamentadas y consistentes. El objetivo es obtener teorías con las cuales se puede explicar adecuadamente el fenómeno. Estas teorías sirven para la toma de decisiones por los usuarios como por ejemplo el administrador del recurso hídricos en la cuenca del Mantaro. Sus métodos ayudan al mejoramiento de la planeación y, desde un enfoque imparcial y objetivo, permiten buscar y encontrar soluciones aceptables y viables ante situaciones de severidad y riesgo crecientes.

2.6. Bases antropológicas

Des de un punto antropológico existen diferencias sutiles en la apreciación del fenómeno según el ambiente en que se vive y la estrechez o cercanía en la relación con el agua. Por ejemplo, en el La cuenca del Mantaro existen claramente dos tipos de habitantes; rurales y urbanos. Cada habitante, de acuerdo a su ambiente tiene una diferencia de visión, así como también contribuyen a la complejidad en el

entendimiento de la sequía, restándole objetividad a su tratamiento. Para un hombre rural o andino es preocupante ver un cielo sin nubes en temporada de lluvia, ya que la humedad insuficiente les impide sembrar o ven sus plantas y animales con sed; a partir de estos factores hacen su pronóstico de que será una temporada difícil. Para ellos, la lluvia es una bendición esperada con anhelo, sobre todo si no disponen de riego artificial, ya que de ello depende su actividad, ingresos y bienestar. Un año lluvioso significa cosechas abundantes, mayores ingresos y bienestar, progreso y estabilidad. Uno o más años con sequía implica carestía, hambre, falta de ingresos, abandono del campo y más pobreza.

Mientras que los habitantes de la ciudad, por lo general son usuarios comunes de agua potable a través de una toma domiciliaria. Estos son menos sensibles al fenómeno naturales adversos, como las sequias, heladas, etc. Sobre todo, si no han tenido una relación directa con el ambiente rural, o desconocen las vicisitudes del mundo andino. Sin embargo, su preocupación se inicia cuando existe escases de agua en sus casas, cuando en los caños de agua de las casas no sale agua o que esta es muy poca. Sin embargo, para cuando esto sucede, lo más probable es que ya la sequía en las partes altas de la cuenca está en una fase avanzada. Para los pobladores de las ciudades la lluvia es una molestia porque interfiere con sus actividades, el problema de la falta de agua lo ven como algo que debería solucionar el gobierno.

CAPÍTULO III. SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

Las sequías en la cuenca del Mantaro no tienen tendencias a disminuir o aumentar.

3.1.2. Hipótesis específicas

Las sequías en el tiempo no tienen a disminuir o aumentar

Las sequías en el espacio no tienen a disminuir o aumentar

3.2. Operacionalización de las variables

Tabla 2

Operacionalización de las variables.

Variables	Definición conceptual	Indicadores
Sequía	Sequía se define como una parte de la serie temporal de precipitación, en la que todos los valores están por debajo de un nivel de truncamiento	Índice de precipitación estandarizado (SPI). $0 > SPI > -0.99$ Sequía leve $-1.00 > SPI > -1.49$ Sequía moderada $-1.50 > SPI > -1.99$ Sequía grave $-2 > SPI$ Sequía extrema

3.3. Definición operacional de las variables

Precipitación

Es la cantidad de lluvia producido durante el periodo 1980 – 2020 en la cuenca del Mantaro y valorado en cada cuadrícula de sistema de grillado rectangular de 0.1° de resolución espacial.

Sequía

Es el déficit de agua que se determina en cada grilla usando el índice de precipitación estandarizado.

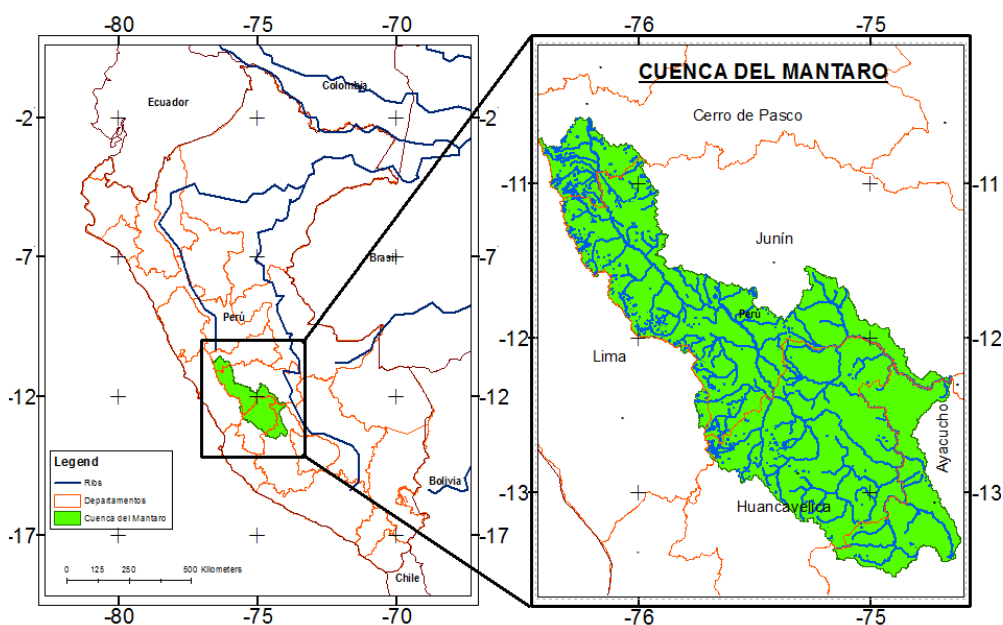
CAPÍTULO IV: MARCO METODOLOGÍA

4.1. Ámbito

La cuenca del Mantaro está ubicada en los Andes centrales del Perú, entre las longitudes $73^{\circ} 55' O$ y $76^{\circ} 39' O$ y las latitudes $10^{\circ} 33' S$ y $11^{\circ} 32' S$; (Figura 1) posee 16 climas de los 32 climas según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite (SENAMHI, 2021). Además de ser importante a nivel socio-económicamente la cuenca del Mantaro, es también importante por sus recursos hídricos (Instituto Geofísico del Perú, 2005).

Figura 2

Mapa de ubicación de la cuenca del Mantaro.



4.2. Tipo y nivel de investigación

La presente tesis está en marcado dentro del tipo de investigación aplicado, porque se utiliza los conocimientos en la determinación del IPE de manera espacial y temporal para caracterizar de las sequías con la finalidad de optar con políticas adecuadas en la gestión de este fenómeno. Así mismo al nivel que corresponde es el de investigación explicativa, porque explicaremos el comportamiento de las sequías de manera espacial y temporal, estableciendo la relación causa-efecto.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Descripción de la población

La población está constituida por la precipitación que acontece en el ámbito de la cuenca del Mantaro.

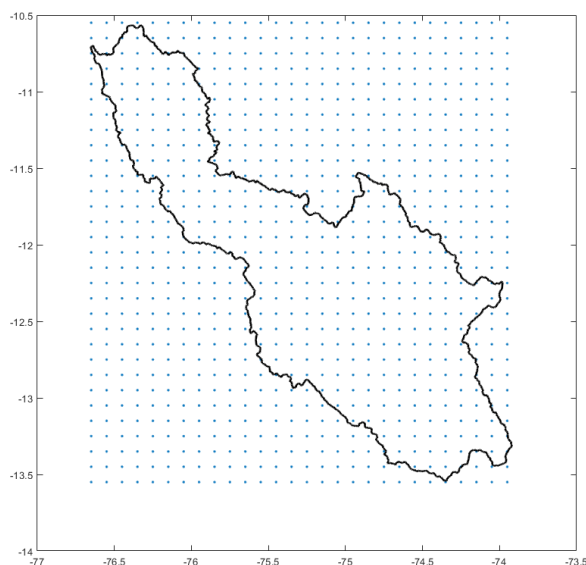
4.3.2. Muestra y método de muestreo

Los datos usados en el presente estudio serán tomados de los resultados del nuevo conjunto de datos grillados de precipitación llamado PISCOP V2.1 (Peruvian Interpolated data of SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations). este conjunto de datos contiene información de precipitación, temperaturas mínimas y máximas en un sistema de grillado rectangular de 0.1° de resolución espacial para el territorio de Perú desde el año 1981 y actualizado hasta el año 2020, este sistema de grillado se puede observar en la Figura 3.

4.3.3. Criterios de inclusión y exclusión

Figura 3

Puntos de muestreo de precipitación.



Nota, PISCOP V2.1 (Peruvian Interpolated data of SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations).

El desarrollo de este producto se basó en métodos de geoestadística y un método de interpolación. Los datos de precipitación son aceptables y muestran el desempeño más alto para la costa del Pacífico y el flanco occidental de los Andes. Por lo que es

adecuado para el presente trabajo (Aybar et al., 2020). El conjunto de datos está disponible públicamente en <https://piscoprec.github.io/>

4.4. Diseño de investigación

El presente proyecto de tesis sigue una secuencia de tres etapas, las que se muestran en el diagrama de flujo presentado en la Figura 4, cada una de estas etapas se detalla a continuación.

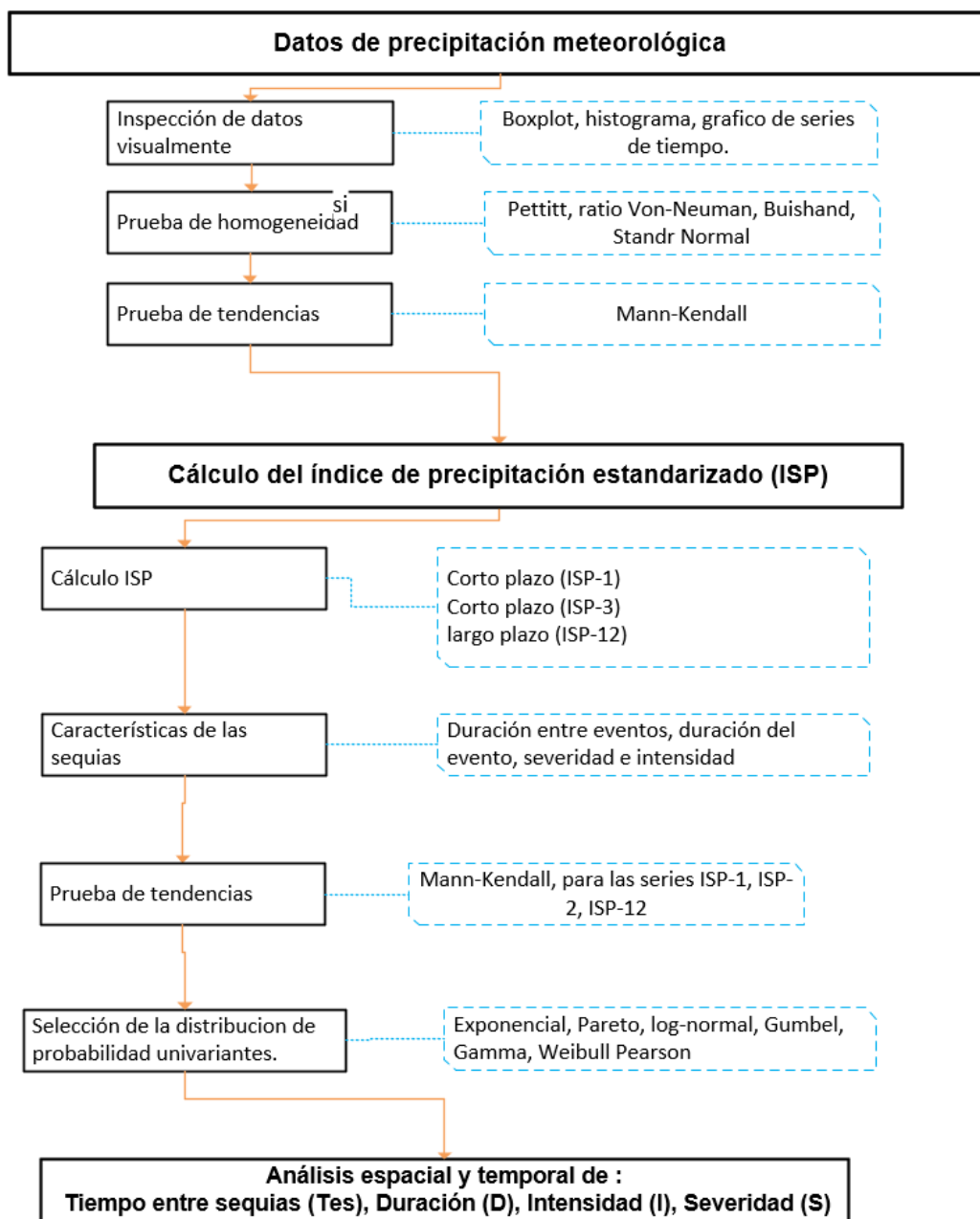
Primera etapa; en esta etapa se realiza la validación de los datos comparando el dato del sistema grillado más cercano a la estación meteorológica del Huayao. En esta etapa también se analiza la tendencia de cada serie aplicando la prueba de Mann-Kendall para series anuales y mensuales, con la finalidad de determinar posibles tendencias en las series de precipitación mensual (Dwivedi and Shrivastava, 2019).

Segunda etapa; en esta etapa se determina las zonas homogéneas de la cuenca del Mantaro, de acuerdo a las zonas climáticas identificadas por el SENAMHI (2021). Además, se aplica el método de clúster, para lo cual se considera como criterio de agrupamiento la latitud y longitud de cada estación meteorológica, así como también su altura sobre el nivel del mar y el promedio mensual de precipitación. Esta primera agrupación se mejora, aplicando el método del polígono de Thiessen, dando como resultado la identificación de las zonas homogéneas de la cuenca.

Tercera etapa; en esta etapa se calcula el SPI para un, dos y tres meses, aplicando la metodología de McKee et al. (1993), luego se identifica el inicio, fin, severidad e intensidad de las sequías. Basados el análisis de los resultados del índice de precipitación estandarizado, llamada serie SPI. Además, se identifica el tipo de sequía.

Figura 4

Flujograma del proyecto de investigación.



4.5. Técnicas e instrumentos

4.5.1. Técnicas

Los datos de usados en el presente proyecto son tomados de la base de PISCOp V2.1, los cuales fueron obtenidos a partir de 684 estaciones climatológicas, administrados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Estos datos

fueron sometidos a tres principales procesos: i) control de calidad, ii) imputación y iii) homogeneización. El control de calidad fue automático y visual. La imputación de información hizo uso de los valores de las anomalías estandarizadas diaria de estaciones y datos de reanálisis del ERA-Interim a través de un modelo estadístico basado en desviaciones de las anomalías estandarizadas. Para la homogeneización se usó el algoritmo de Menne y Williams a escala mensual, y para las correcciones diarias se realizó una transformación de los factores mensuales a diarios. De esta manera, luego del control de calidad de datos se usaron 178 series de tiempo con al menos 15 años de datos que posteriormente fueron completados y homogeneizados en el periodo 1981-2020. Las técnicas, Instrumentos, Validación de los instrumentos para la recolección de datos y Confiabilidad de los instrumentos para la recolección de datos se encuentran en detalle en el trabajo de Aybar et al. (2020).

4.5.2. Instrumentos

4.5.2.1. Validación de los instrumentos para la recolección de datos

En la presente tesis se utilizó los datos de precipitación mensual del producto PISCO; por sus siglas Peruvian Interpolate data of the SENAMHI Climatological and Hydrological Observations. Las cuales son el resultado de la combinación de datos de estaciones climatológicas y productos satelitales de estimación de lluvias para obtener una base de datos grillada a nivel nacional de alta resolución espacial ($\sim 5*5$ km); los datos grillados abarcan una serie temporal que se inicia el 1ro de enero 1980 actualizado hasta el 31 de diciembre del 2020, los instrumentos de recolección de dicho datos se encuentran descritos por Lavado et al. (2016).

4.5.2.2. Confiabilidad de los instrumentos para la recolección de datos

La confiabilidad de los instrumentos de recolección de datos se encuentra detallado en estudio realizado por Lavado et al. (2016)

4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Las técnicas para el procedimiento y análisis de datos seguidos en la presente tesis fueron adoptados de la Organización Meteorológica Mundial (2006).

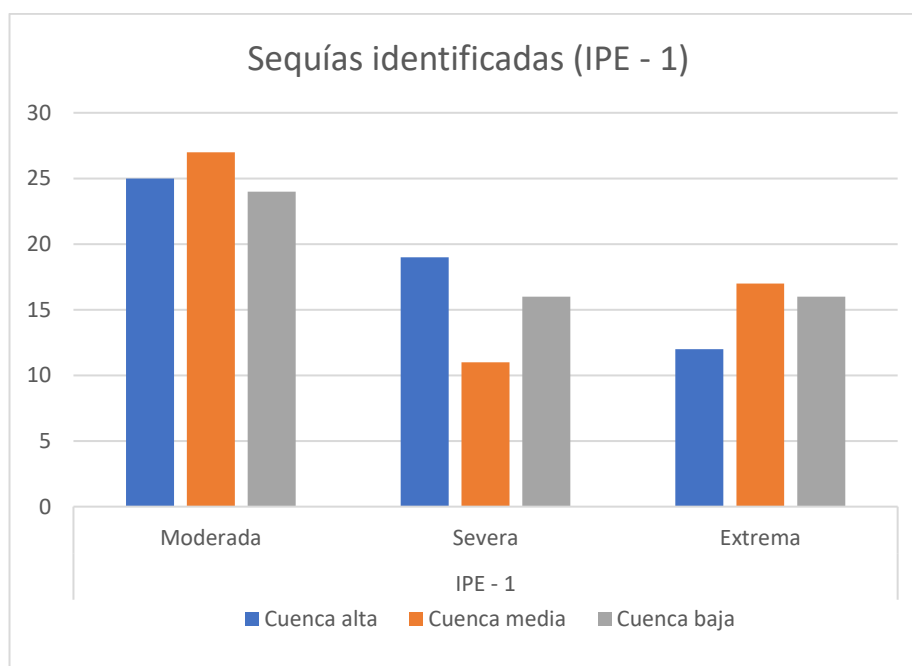
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis descriptivo

Para analizar las sequías en la cuenca del Mantaro, esta se ha dividido en cuenca alta, media y baja, tomando en consideración sus condiciones climatológicas dominantes en cada zona y en concordancia a los trabajos realizado por Gálvez Ayala (2017) y Cairampoma (2021). Para identificar las sequías en el periodo de estudio (1980 a 2020), se analizaron las series de precipitación mensual de la base de datos del sistema grillado PISCOv2. Calculado el índice de precipitación estandarizado (IPE), para uno, tres y doce meses. El índice de precipitación estandarizado de un mes representa las sequías a corto plazo (IPE-1), El índice de precipitación estandarizado de dos meses representa las sequías a mediano (IPE-3) y el índice de precipitación estandarizado de doce meses representa las sequías a largo plazo (IPE-12). Con los valores del IPE y los rangos establecidos en la tabla 1, se determina el tipo de sequía, moderada, severa y extrema. Para las sequías a corto plazo (IPE - 1) se identificaron que acontecen más sequías moderadas ($IPE > -1.5$), en comparación de las sequías severas ($-2 < IPE < -1.5$) y extremas ($IPE < -2$), lo que se muestra en la figura 5.

Figura 5

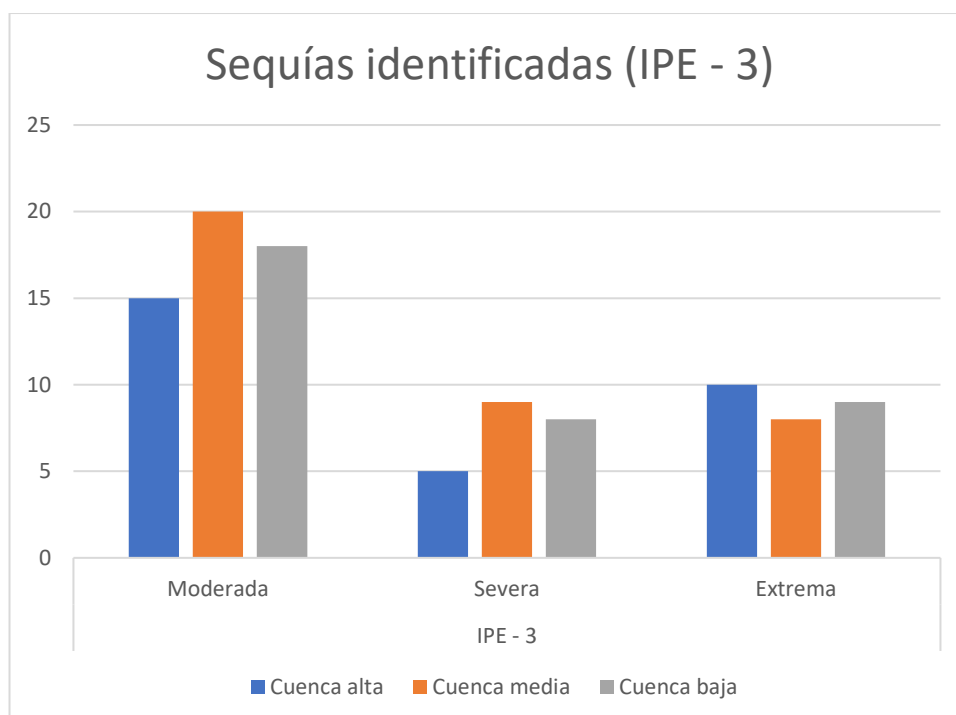
Número de sequías identificadas para el IPE-1.



Así mismo se ha identificado el número de sequías a mediano plazo (IPE - 3) para la cuenca alta, media y baja, mostradas en la figura 6. El número de sequías moderadas, tanto para la cuenca alta, media y baja. También es mayor al número de sequías severas extremas identificadas en la cuenca media y baja.

Figura 6

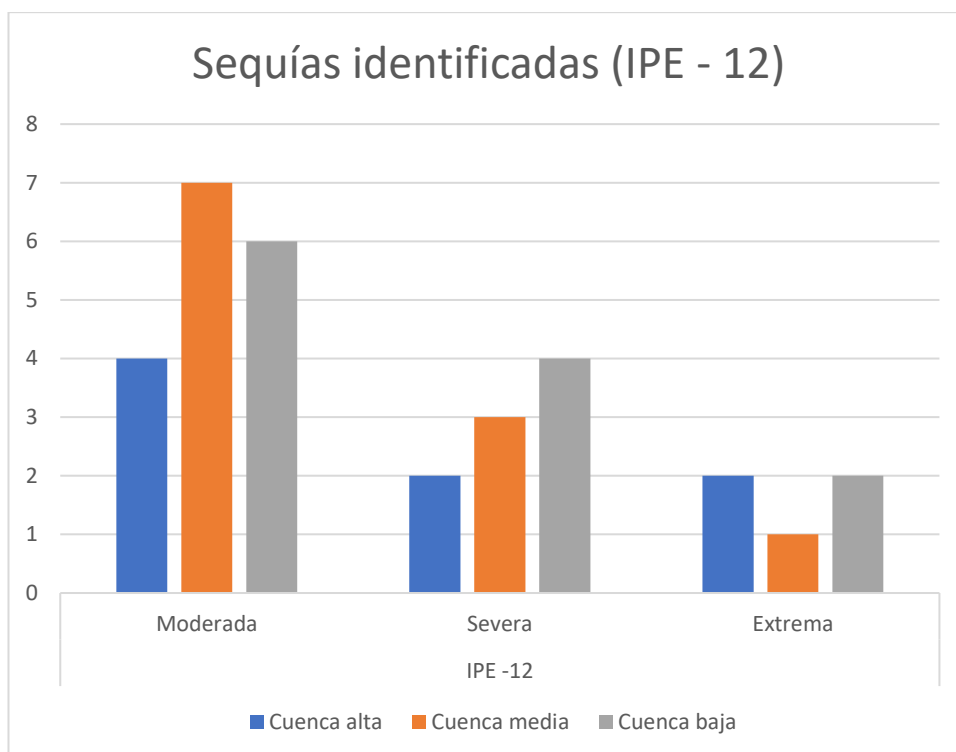
Número de sequías identificadas para el IPE-3.



Al comparar los números de sequías a largo plazo (IPE - 12) con respecto al número de sequías identificadas con el IPE – 1 y IPE – 3. Existen menor número de sequías de este tipo. En la figura 7 se observa los números de sequía a largo plazo identificadas. Existe claramente un menor número de sequías de este tipo. Mas aun cuando se cuentan los eventos de sequía a largo plazo extremos, solo identificamos dos eventos de este tipo en la cuenca alta, uno en la cuenca media y dos en la cuenca baja. Estas sequías a largo plazo y extremas identificadas se refieren a las acontecidas el año 1990 y 1992, las cuales han ocasionado grandes pérdidas económicas en el sector agropecuario, industrial, minero e hidroenergético.

Figura 7

Número de sequías identificadas para el IPE-12.



5.2. Análisis inferencial y/o contrastación de hipótesis.

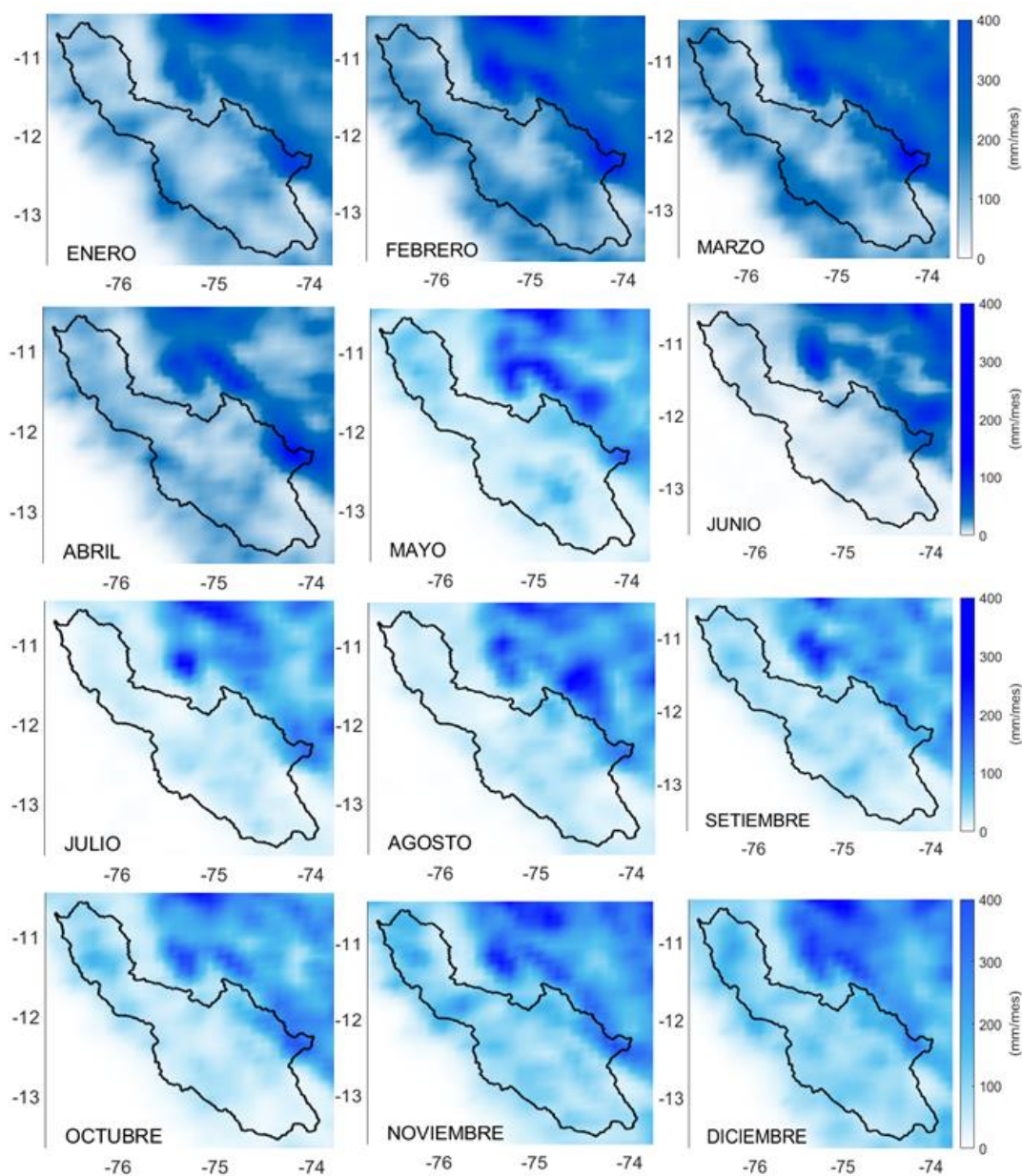
Para identificar si existe o no tendencias en el número de sequías para el periodo de estudio (1980 - 2020), se ha realizado la prueba no paramétrica Mann – Kendall. Esta prueba se ha realizado a cada serie de precipitación mensual del sistema grillado, los resultados son mostrados en el anexo (Tabla 15 al 20).

Distribución espacial de las precipitaciones

Los patrones espaciales presentados en la Figura 8, fueron elaborados con los promedios mensuales del total de la serie de precipitación mensual en evaluación (1980 a 2020) en cada punto espacial. Estos resultados revelan una heterogeneidad en toda la cuenca, característica propia de las lluvias; con una clara diferencia entre las áreas norte y centro, en comparación con las áreas sureste de la cuenca; en la que acontece mayor precipitación.

Figura 8

Precipitación media mensual en mm sobre cuenca del Mantaro para el período 1980-2020.



Nota; setiembre - abril (meses húmedos) y mayo a setiembre (meses secos); la escala es la misma para todos los meses.

En términos de variación mensual y de ubicación, se observa que la lluvia comienza los meses de setiembre y termina en abril. Sin embargo, la máxima intensidad de precipitación acontece los meses de diciembre a marzo; en promedio se tiene para la cuenca alta una precipitación acumulada anual de 874.60 mm, un valor similar

acontece en la cuenca baja; 861.20 mm/año. Mientras que para la cuenca media se tiene un valor menor a las dos anteriores (469.95 mm/año); observándose esta diferencia de manera acentuada para los meses de enero a marzo.

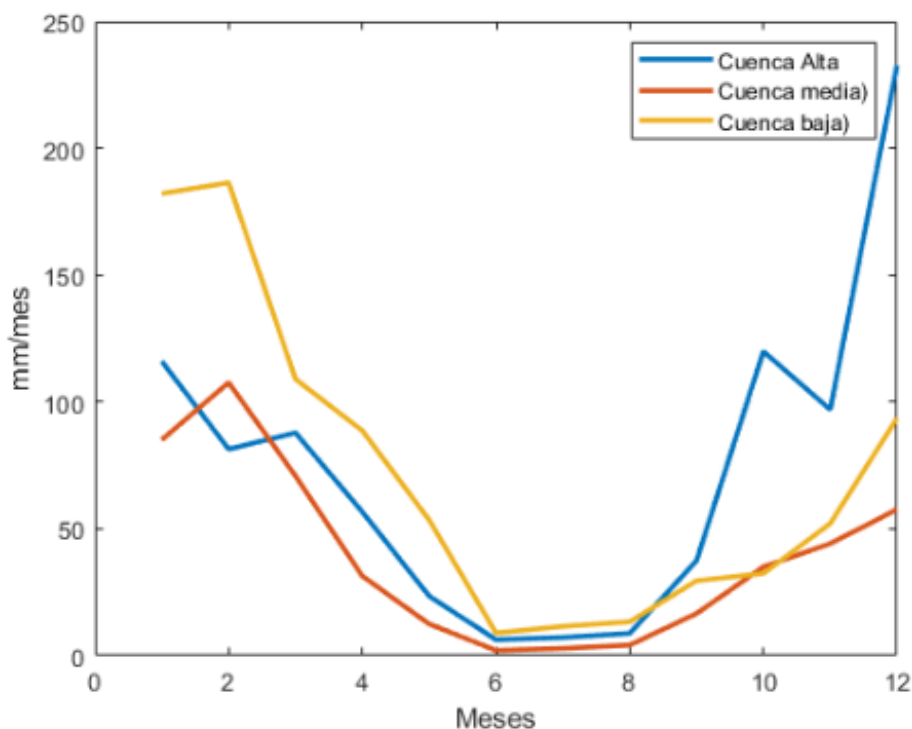
Por otro lado, la precipitación más baja se registra entre mayo a septiembre, que también se considera como la estación seca, siendo junio el mes más seco. Llegando a valores promedios de precipitación de este mes en la cuenca alta de 6.3 mm, en la cuenca media de 8.9 mm. Sin embargo, es en la cuenca baja donde se registran los menores valores (2.0 mm). Indicando que la cuenca baja registra la menor cantidad de precipitación en toda la cuenca.

Los patrones espaciales anteriores concuerdan con el ciclo anual general de lluvia sobre la cueca del Mantaro presentado en la Figura 9.

El ciclo anual representado se obtuvo realizando un promedio aritmético de todos los puntos grillados. Los resultados muestran un patrón con lluvias que comienzan en setiembre y terminan en abril, mientras que el período restante es generalmente seco. Sin embargo, se ha identificado que el núcleo de la temporada de lluvias de la Figura 9 ocurre durante diciembre a marzo con más del 66% de la lluvia acumulada recibida durante estos meses para la cuenca media y baja. Silva et al. (2008) hizo una observación similar después de analizar la variabilidad interanual en los períodos húmedos y secos característicos de la cueca del Mantaro, en el periodo de 1970 a 2004, de 38 estaciones meteorológicas. Vale la pena señalar que la distribución de las lluvias sobre la cuenca del Mantaro está muy influenciada por el Niño-Oscilación del Sur (ENOS), así mismo sobre la precipitación durante el pico de la temporada de lluvias, la variabilidad de amplitud de la precipitación durante la fase de inicio de la temporada de lluvias (septiembre-diciembre). De igual modo, existe una correlación entre las precipitaciones en la cuenca del Mantaro y la temperatura de la superficie del mar en el Atlántico tropical, pero solo al final de la temporada de lluvias; más lluvia asociada con una diferencia de temperatura de la superficie del mar en el Atlántico tropical (Cai et al., 2020).

Figura 9

Ciclo anual de precipitación media mensual sobre la cuenca del Mantaro (1980 - 2020).



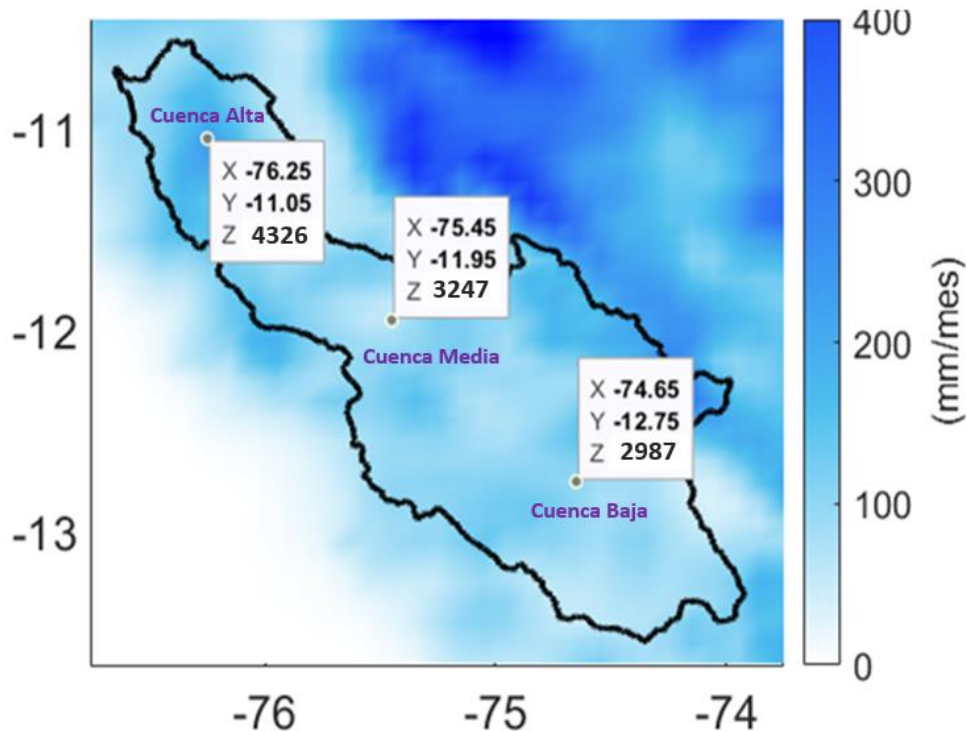
Cálculo del Índice de precipitación estandarizada (IPE) temporal

Para la caracterización temporal de las sequías en la cuenca alta, media y baja, se seleccionó una grilla en cada, obteniéndose tres series de precipitación mensual representativas de cada zona, cada serie inicia en el año de 1980 y termina en el año de 2020. La elección espacial se realizó teniendo en cuenta que la grilla seleccionada estaría ubicada en el centro de la cuenca alta, media y baja. Las coordenadas y la altura de cada una de las grillas seleccionadas se muestran en la En cada uno de estas series de precipitación mensual se ha determinado el índice de precipitación estandarizado. En la escala de 1 mes, para determinar las sequías a corto plazo. En la escala de 3 meses, para el análisis de las sequías a mediano plazo y en la escala de 12 meses para el análisis de las sequías a largo plazo.

Figura 10 En cada uno de estas series de precipitación mensual se ha determinado el índice de precipitación estandarizado. En la escala de 1 mes, para determinar las sequías a corto plazo. En la escala de 3 meses, para el análisis de las sequías a mediano plazo y en la escala de 12 meses para el análisis de las sequías a largo plazo.

Figura 10

Coordenadas de los puntos de muestra para el análisis temporal de sequías.



Existen tres umbrales para determinar el tipo de sequías, los valores de estos umbrales fueron definidos por McKee et al. (1993) en función a los valores obtenidos del IPE; por ejemplo, si los valores del IPE se ubica en el rango de -1 a -1.5, son consideradas como sequías moderadas, mientras que las que se encuentran entre el rango de -1.5 a -2, son consideradas como sequías severas y finalmente los valores de IPE que son inferiores a los valores de -2, son considerados como sequías extremas. Además para que un periodo sea considerado como un evento de sequía, los valores del IPE deben ser iguales o menores a -1, considerando al primer mes como el inicio de la sequía, mientras que la duración de la sequía está determinada por los números de meses consecutivos con valores de IPE menores a -1, así mismo el tiempo entre dos eventos de sequía, se contabiliza desde el inicio del evento de sequía hasta el inicio de un nuevo evento, mientras que la severidad del evento se considera como la suma de los valores negativos IPE en un evento y la intensidad es determinada por el menor valor de IPE.

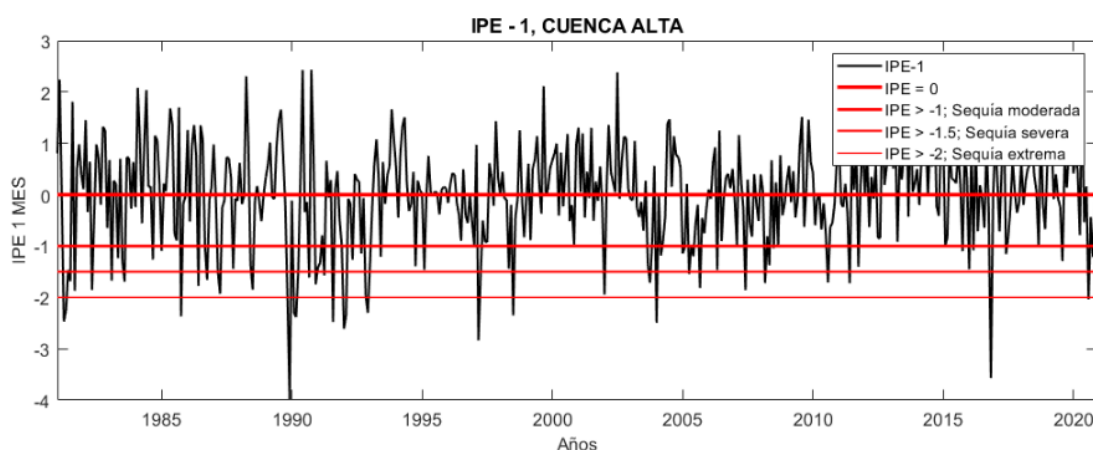
Análisis temporal de las sequías a corto plazo (IPE-1)

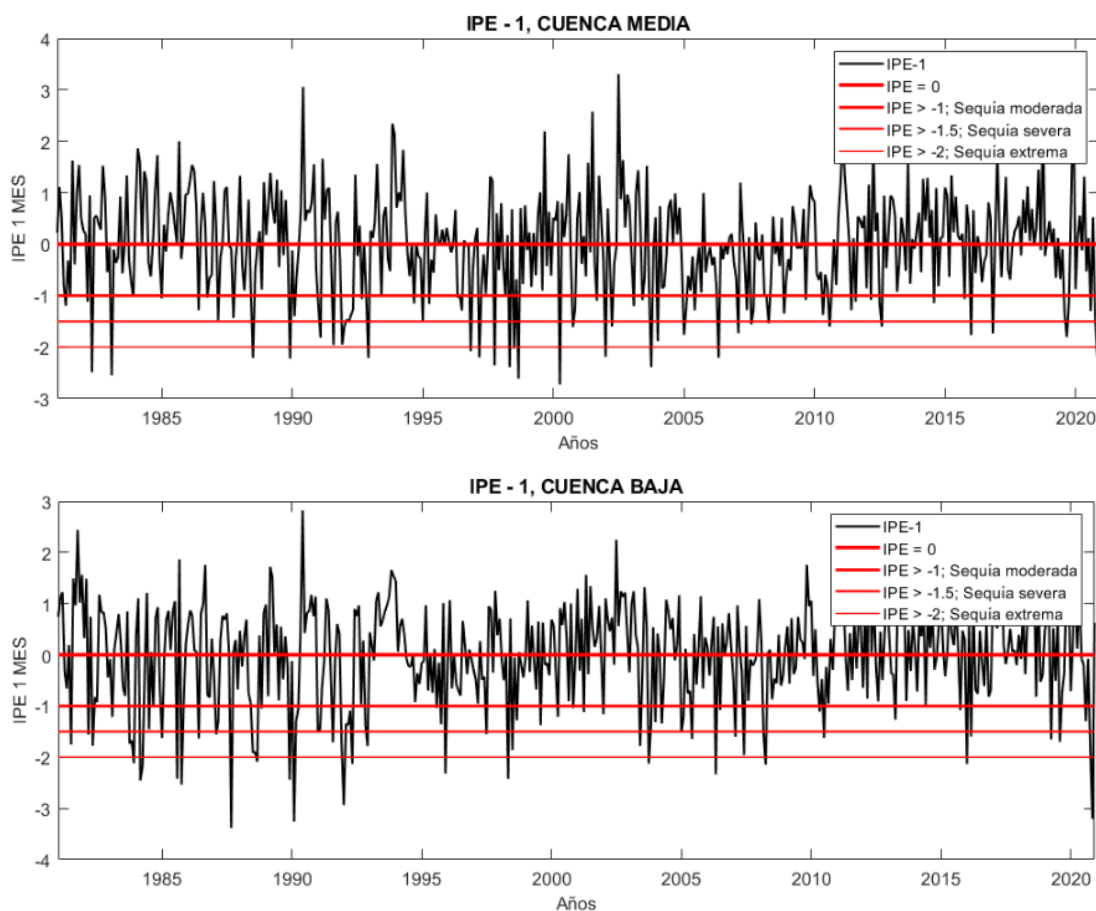
El valor del IPE mensual representa la intensidad de la sequía, es decir, que tan grande es el déficit de precipitación, de acuerdo a la escala temporal utilizada, la cual se calcula sistemáticamente, para cada mes, y no representa necesariamente la gravedad de la totalidad del evento seco, ya que para establecer la gravedad del evento de sequía se requiere del análisis de la magnitud y duración, aunado al de la intensidad, análisis que se hará en la sección más adelante.

La Figura 11 muestra los resultados de los valores IPE – 1, para el periodo en estudio (1980 - 2020). Calculados a partir de los registros de lluvia de los tres puntos de muestreo, correspondientes a la cuenca alta, media y baja. El evento de sequía de mayor intensidad identificada en la cuenca alta, es el que aconteció el año 1990, siendo considerada como una sequía del tipo extrema. (IPE < -2), algo similar aconteció en la cuenca baja registrándose una sequía también extrema (IPE < -2). Sin embargo, la sequía acontecida en la cuenca alta fue de mayor intensidad; el IPE es menor en la cuenca alta con relación al de la cuenca baja. Mostrando una diferencia de magnitud de la sequía en la cuenca del Mantaro. Mas aun si se toma en cuenta el valor el IPE para el mismo año en la cuenca media. Esta heterogeneidad indica que las sequías en la cuenca del Mantaro no so presentan de forma homogénea y con la misma intensidad.

Figura 11

Valores IPE – 1, para el periodo en estudio (1980 - 2020).





Otro episodio de sequía bien documentada por Endara Huanca et al. (2019) para el SENAMHI fue el acontecido el año 1992, el cual afectó más del 50% del territorio del Perú; 16 departamentos afectados. Este evento de sequía aconteció coincidentemente con el año del niño. Al evaluar este evento para la cuenca del Mantaro, encontramos que, en la cuenca alta y media se registra como un evento severo, mientras que para la cuenca baja se considera como un evento moderado. Existiendo diferencias geográficas de este fenómeno.

Al evaluar los números de sequías a corto plazo (IPE – 1) identificadas en la cuenca del Mantaro (Tabla 3), se encontró que para el número de sequías moderadas para la cuenca alta, media y baja, no existe diferencias. Mientras que para las sequías severas existe un mayor número en la cuenca alta (19) con relación a la cuenca media y baja (11 y 16). Caso contrario ocurre para las sequías extremas, existiendo un menor número de ellas en la cuenca alta (12), en contraste a un mayor número de eventos identificados en la cuenca media y baja (17 y 16). Por lo que se concluye que, para las sequías moderadas a corto plazo (IPE - 1) no existe diferencias en el número de sequías

identificadas en toda la cuenca. lo que no ocurre en el caso de sequías severas y extremas, siendo más numerosas las sequías severas en la cuenca alta, mientras que el número de sequías extremas son más en la cueca media y baja.

Tabla 3

Tipo de sequías identificadas con el IPE - 1

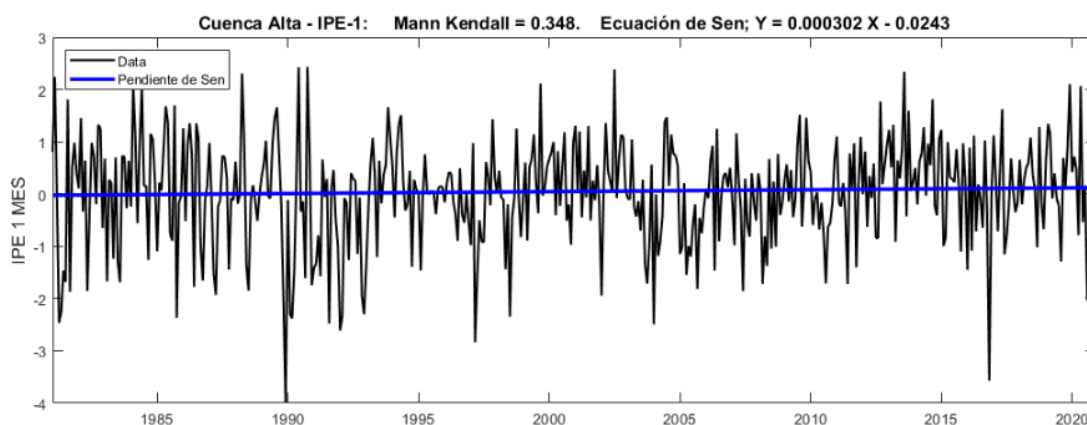
Ubicación	IPE - 1			Total
	Moderada	Severa	Extrema	
Cuenca alta	25	19	12	56
Cuenca media	27	11	17	55
Cuenca baja	24	16	16	56

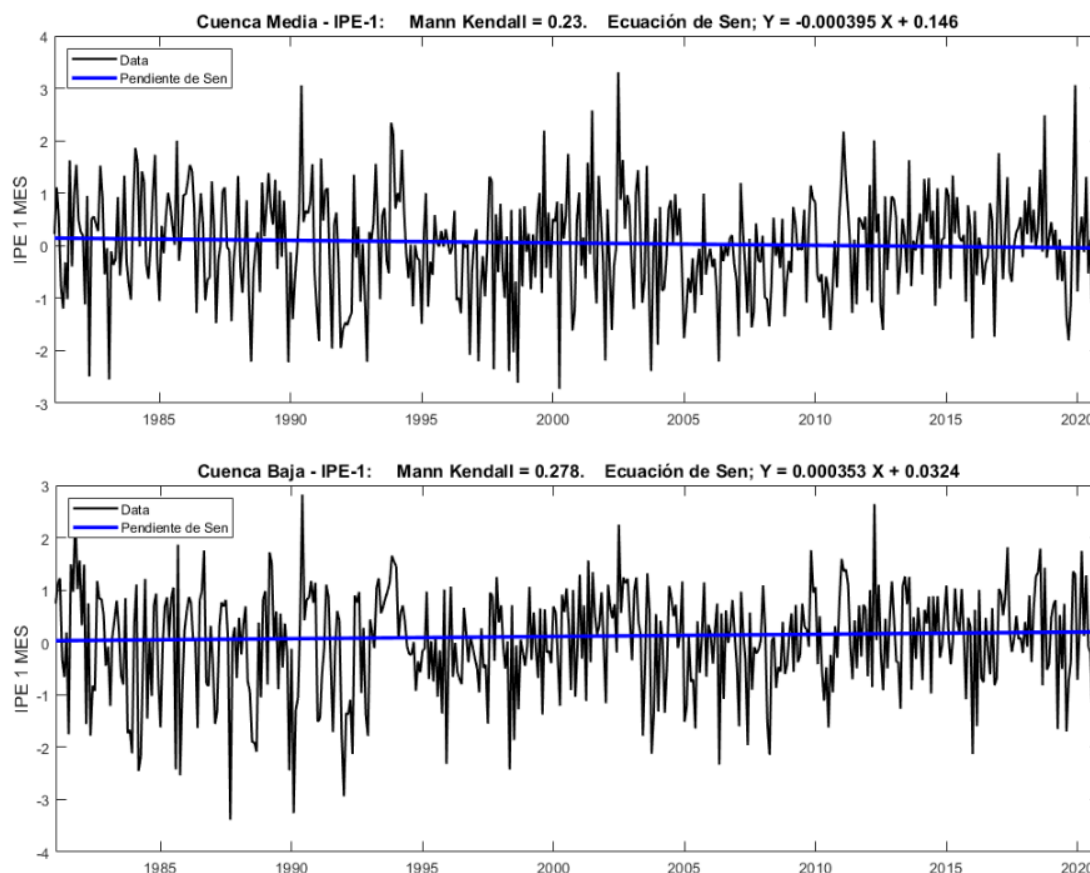
Análisis de tendencia temporal de las sequías a corto plazo (IPE - 1)

En la en la Figura 12 se muestran los valores de IPE -1 y la línea en azul que representa a la ecuación lineal cuya pendiente es el valor de Sen, donde los valores positivos indican una tendencia aumentar los valores IPE, mientras que los valores negativos, indican la disminución de los valores del IPE.

Figura 12

Tendencia de Mann - Kendall, coeficiente de Sen, para el IPE 1 en el periodo en estudio (1980 - 2020).





Los valores del coeficiente de Sen obtenidos para la cuenca alta, media. Indican un ligero aumento de la precipitación ($Sen > 0.0003$). Sin embargo, esta tendencia no es significativa, de acuerdo con la prueba de Mann Kendall las tres series no tiene tendencias positivas ni negativas ($P \text{ valor} > 0.05$). por lo que podemos concluir que las sequías a corto plazo (IPE-1) en la cuenca del Mantaro no tienden aumentar o disminuir, cuando se hace el análisis de tendencias de manera temporal.

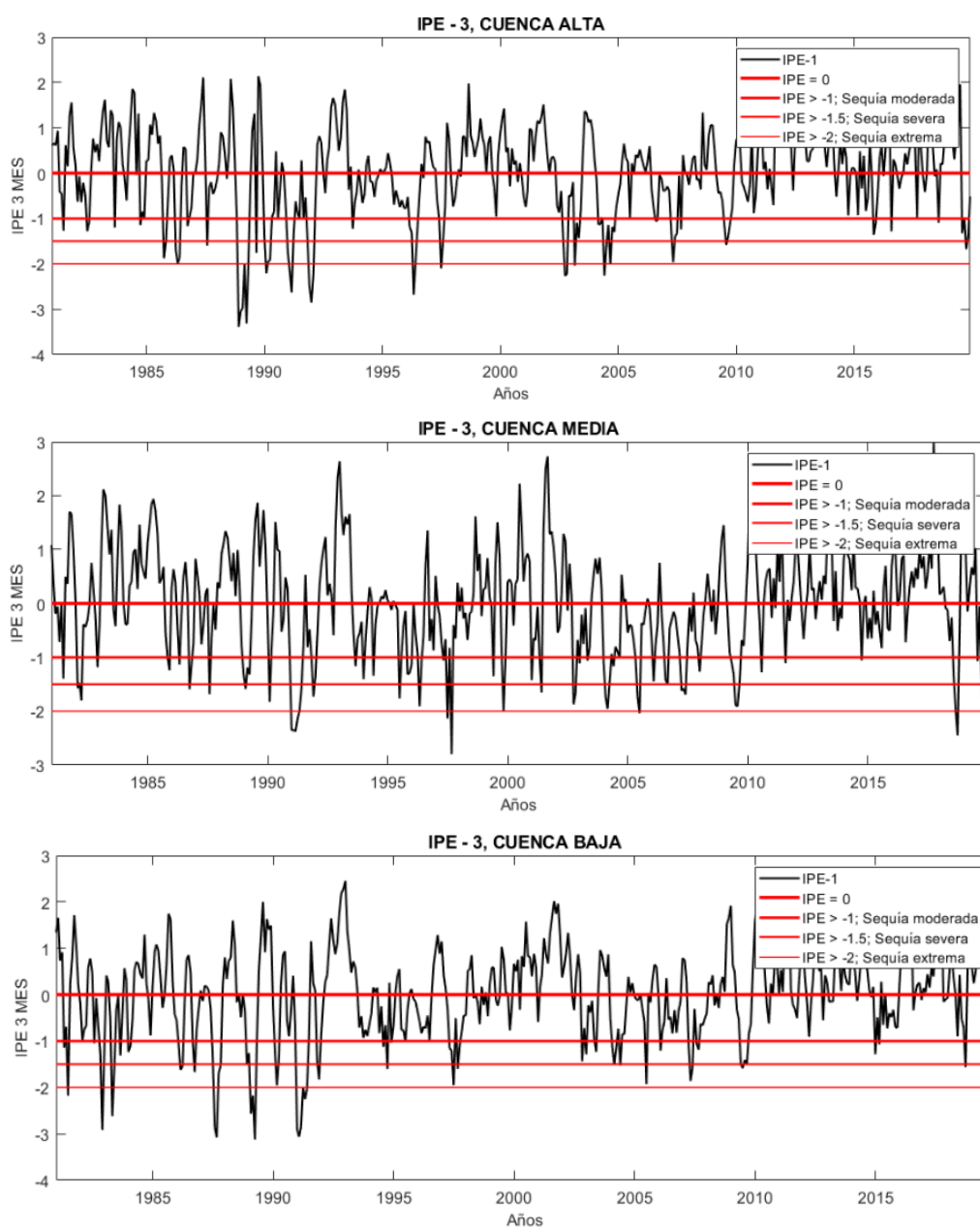
Análisis temporal de las sequías a mediano plazo (IPE-3)

En las Figura 13 se muestran los IPE en la escala de tiempo de 3 meses para las tres series; correspondiente a la cuenca alta, media y baja. Al analizar las sequías a mediano plazo (IPE-3) identificamos en la Figura 13, que varios meses consecutivos de valores de índice negativos no necesariamente indican sequía. Por ejemplo, en el periodo 2010 al 2015; se tiene valores de IPE negativos, pero no llegan a ser consideradas como sequías. También se observa que, en la cuenca baja no se ha registrado sequías extremas desde el año 1992.

Caso similar acontece en la cuenca media, con excepción de un viento registrado en el 2018, este evento ha sido puntual para el centro de la cuenca. El estudio de las sequías a corto plazo (IPE – 3) valoran las sequías que están en relación con la humedad en el suelo (Svoboda et al., 2012), por lo que su incidencia en la cuenca media del Mantaro indica las consecuencias negativas de estos eventos en el sector agrícola.

Figura 13

Valores IPE – 3, para el periodo en estudio (1980 - 2020).



El número de sequías extremas identificadas con el IPE – 3, indican que no hay diferencias para la cuenca alta, media y baja, con 10, 8 y 9 eventos identificados. Sin embargo, existe diferencias para el numero de sequías moderadas y extremas, siendo la cuenca media la más afectada por este tipo de sequías, con relación a la cuenca alta y media (Tabla 4). Estas sequías tienen directa relación con los veranillos prolongados en la cuenca media. Las cuales afectan directamente a la disponibilidad de agua a los cultivos, como el maíz, papa, alfalfa, etc. En el Valle del Mantaro.

Tabla 4

Tipo de sequías identificadas con el IPE – 3.

Ubicación	IPE - 3			Total
	Moderada	Severa	Extrema	
Cuenca alta	15	5	10	30
Cuenca media	20	9	8	37
Cuenca baja	18	8	9	35

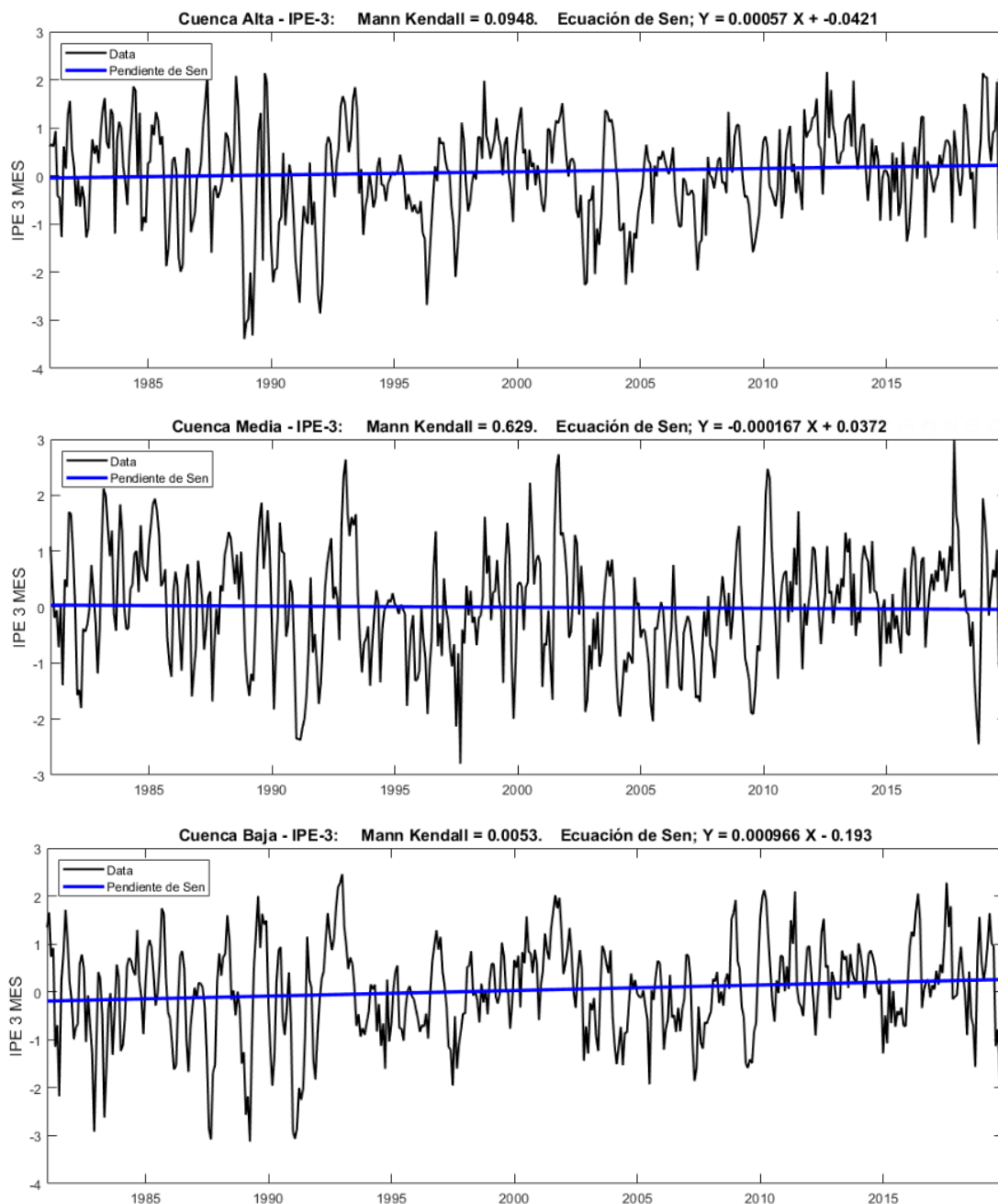
Análisis de tendencia temporal de las sequías a mediano plazo (IPE-3)

En la Figura 14 se muestran los valores de IPE – 3 para el año en evaluación (1980 - 2020), para la cuenca ala y baja se tienen una pendiente de Sen muy bajas ($Sen < 0.0005$) que reflejan la falta de tendencias de estas series ($Mann - Kendal > 0.05$), concluyendo que la ocurrencia de las sequías en la cuenca alta y media se mantienen estables.

Sin embargo, para el caso de la cuenca baja existe una tendencia a aumentar los valores de IPE – 3 ($Mann - Kendal < 0.05$), indicando que las precipitaciones en esta parte de la cuenca son más recurrentes y que se incrementan a una magnitud de 0.001 mm por mes.

Figura 14

Tendencia de Mann - Kendall, coeficiente de Sen, para el IPE 3 en el periodo en estudio (1980 - 2020).



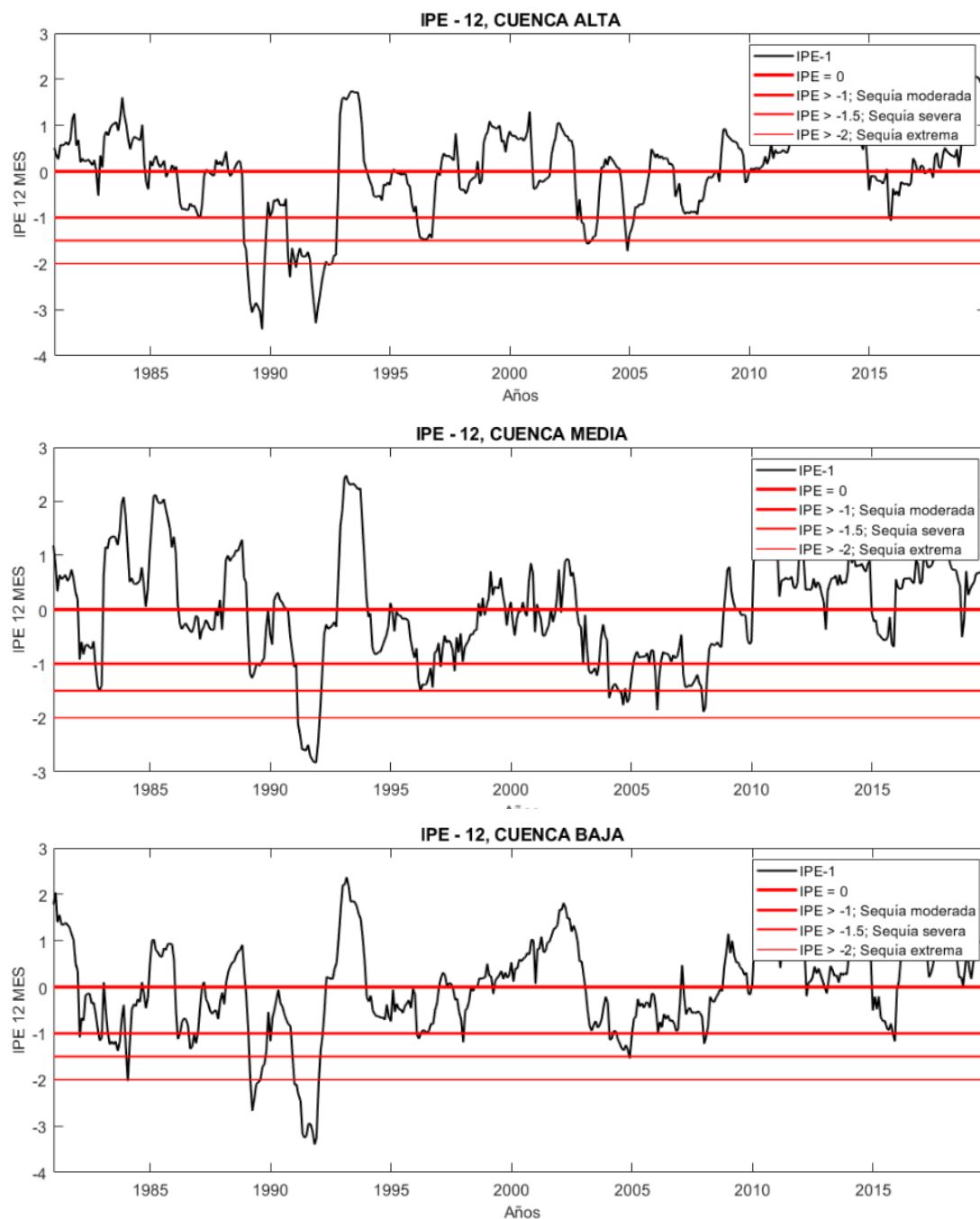
Análisis temporal de las sequías a largo plazo (IPE - 12)

Al analizar las sequías a largo plazo (IPE -12) mostradas en la Figura 15, se tienen que el último evento de gran magnitud fue la que aconteció el año de 1992, de acuerdo con los valores del IPE - 12 conseguidos, esta sequía se cataloga como una sequía extrema.

Sin embargo, el comportamiento de este evento no ha sido igual en toda la cuenca; siendo la cuenca media y baja más afectada que la cuenca alta.

Figura 15

Valores IPE – 12, para el periodo en estudio (1980 - 2020).



Este evento de sequía es el último evento extremo registrada hasta el año 2020. Existiendo un periodo de al menos 30 años sin registrarse un evento de esta naturaleza.

El índice de precipitación estandarizado en el periodo de 12 meses identifica las sequías a largo plazo, Estas sequías tienen una relacionan con los caudales de los ríos tributarios del río Mantaro, así como también con el nivel de las represas existentes, sobre todo en la cuenca Alta (Arriaga et al., 2019).

El número de sequías a largo plazo se puede apreciar en la Tabla 5, las sequías de este tipo identificadas en total para la cuenca alta, media y baja no difieren, estas sequías a largo plazo son escasas sus ocurrencias. Sin embargo, sus impactos son devastadores, en su informe al respecto Endara Huanca et al. (2019) reporta la disminución de la producción y productividad agropecuaria debido a la pérdida de la superficie cultivada, calcula que las pérdidas por esta sequía fue del orden de 15 % - 58 %, sobre todo al sur del Perú.

Tabla 5

Tipo de sequías identificadas con el IPE – 12.

Ubicación	IPE -12			Total
	Moderada	Severa	Extrema	
Cuenca alta	4	2	2	8
Cuenca media	7	3	1	11
Cuenca baja	6	4	2	12

Análisis de tendencia temporal de las sequías a largo plazo (IPE-3)

En la Figura 15 se muestra el resultado del estudio temporal de las sequías a largo plazo (IPE - 12), estas muestran que en los últimos años (30 años) no se han identificado eventos de esta naturaleza. Lo que se confirma con el estudio de tendencia, obteniéndose que para la serie de (IPE - 12) para la cuenca media no existe tendencias ni aumentar ni a disminuir sus valores (Mann - Kendal > 0.05). Sin embargo, para la cuenca Alta y Baja existe una clara tendencia a aumentar los valores del índice de precipitación estandarizada (Mann - Kendal < 0.05), indicando que la precipitación en el periodo en evaluación tiende a aumentar, con el efecto de disminuir las sequías a largo plazo (IPE -12) en la parte alta y baja de la cuenca.

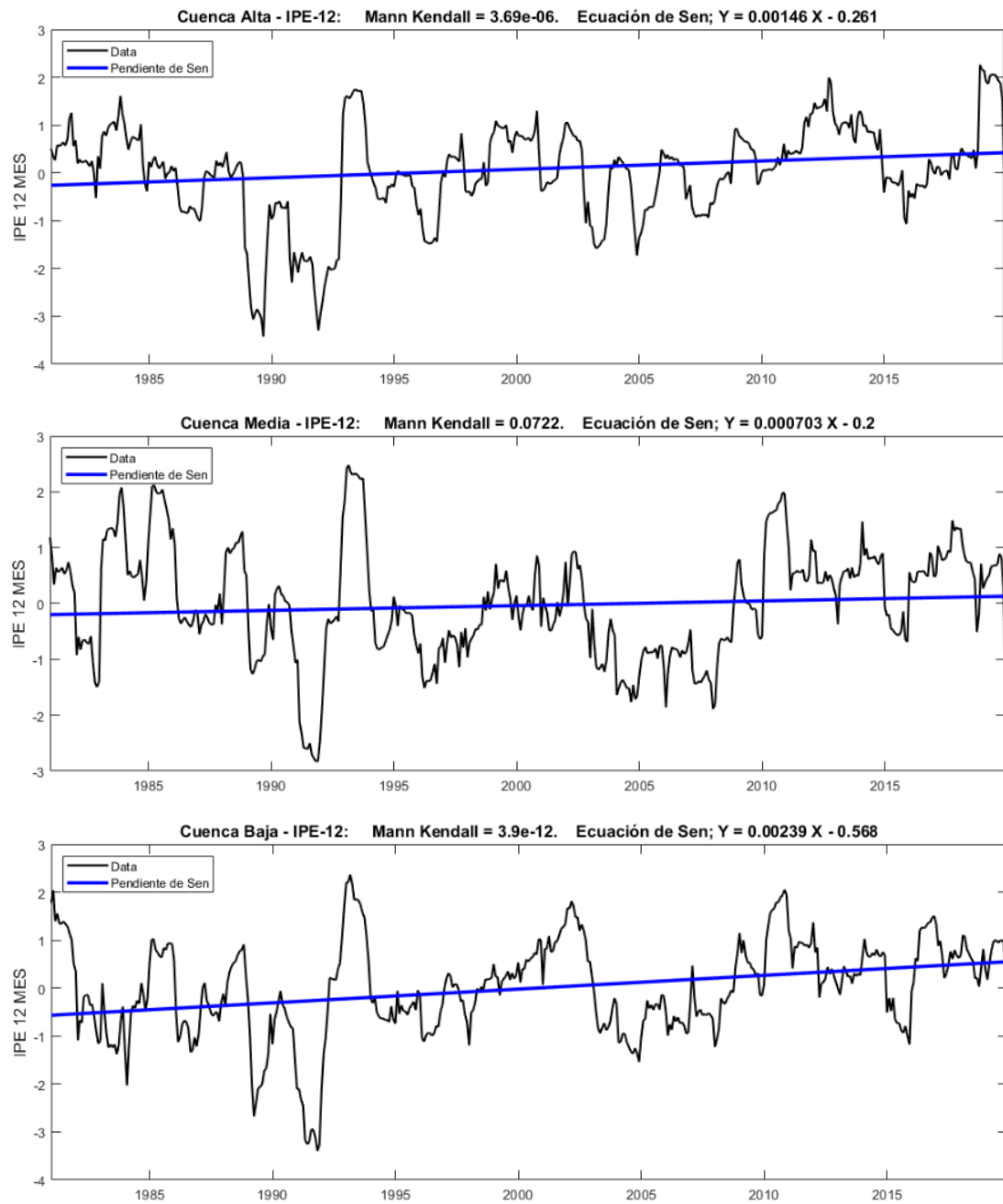
Análisis espaciotemporal de las sequías

La evaluación espacial se ha determinado con los datos de precipitación mensual del sistema grillado del SENAMHI, este sistema tiene una alta resolución espacial de 0.1° horaria a escala de todo el Perú. Es una nueva base de datos que se desarrolla a partir de la disgregación temporal de un establecido producto diario de precipitación en conjunto con la combinación de estimaciones de precipitación de tres productos satelitales y estaciones meteorológicas automáticas. Para el propósito del presente estudio estos datos cumplen con la confiabilidad requerida (Lavado et al., 2016).

Al calcular el IPE de estos datos grillados se obtiene el comportamiento espacial de las sequías en la cuenca del Mantaro, mostrado en la Figura 177. Con respecto a la duración de las sequías; para lo cual se ha determinado el promedio de todas las duraciones de los eventos identificados en el periodo de estudio (1980 - 2020). Se observa que los eventos con mayor duración (2.5 a 3 meses). Por lo general ocurren en la cuenca alta. Mientras que en la cuenca media las duraciones de los eventos son de 1.5 a 2 meses. Al igual que en la cuenca baja. Concluyendo que las sequías de mayor duración han acontecido en la cuenca alta, generando problemas en el almacenamiento del embalse de Junín. Por otro lado, también se observa que las sequías más severas y más intensas acontecen en la cuenca alta. Esta relación entre la duración de las sequías con la severidad e intensidad con cuerda con el estudio realizado por Cairampoma Amaro (2021) en la cuenca del Mantaro quien reporto que existe una relación entre estas variables para la cuenca.

Figura 16

Tendencia de Mann - Kendall, coeficiente de Sen, para el IPE 12 en el periodo en estudio (1980 - 2020).

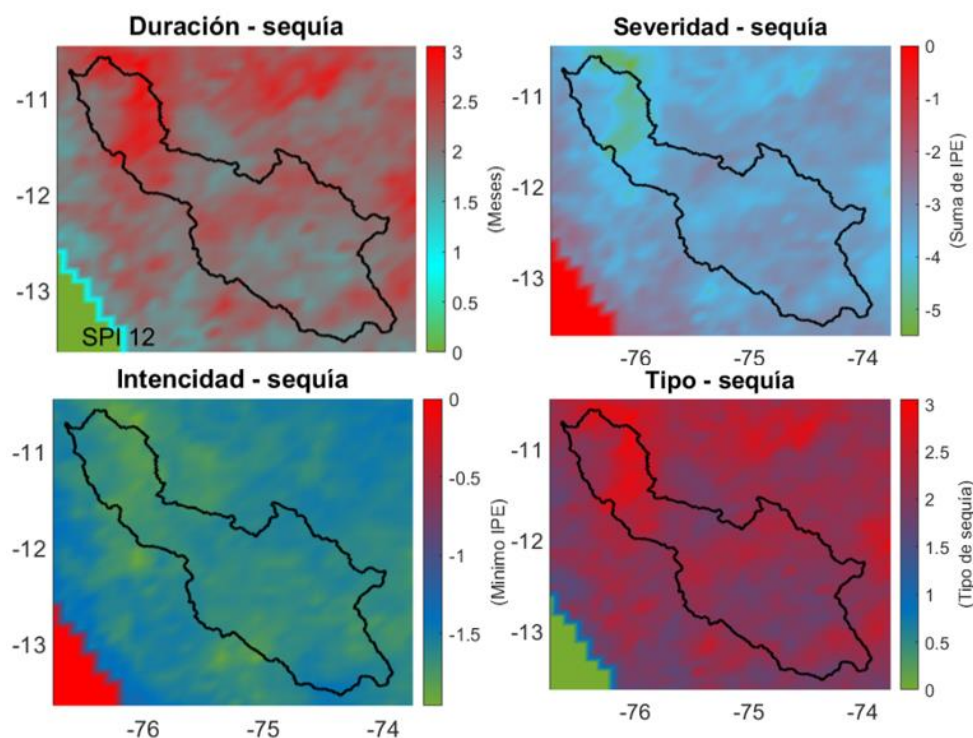


En la Figura 17 también se observa que los eventos de sequía abarcan más áreas en la cuenca alta, en comparación de la cuenca media y baja. Muy a pesar de que en esta

cuenca se han registrado menos eventos de sequías (30 eventos) con respecto a los eventos identificados en la cuenca media (37) y en la cuenca baja (35).

Figura 17

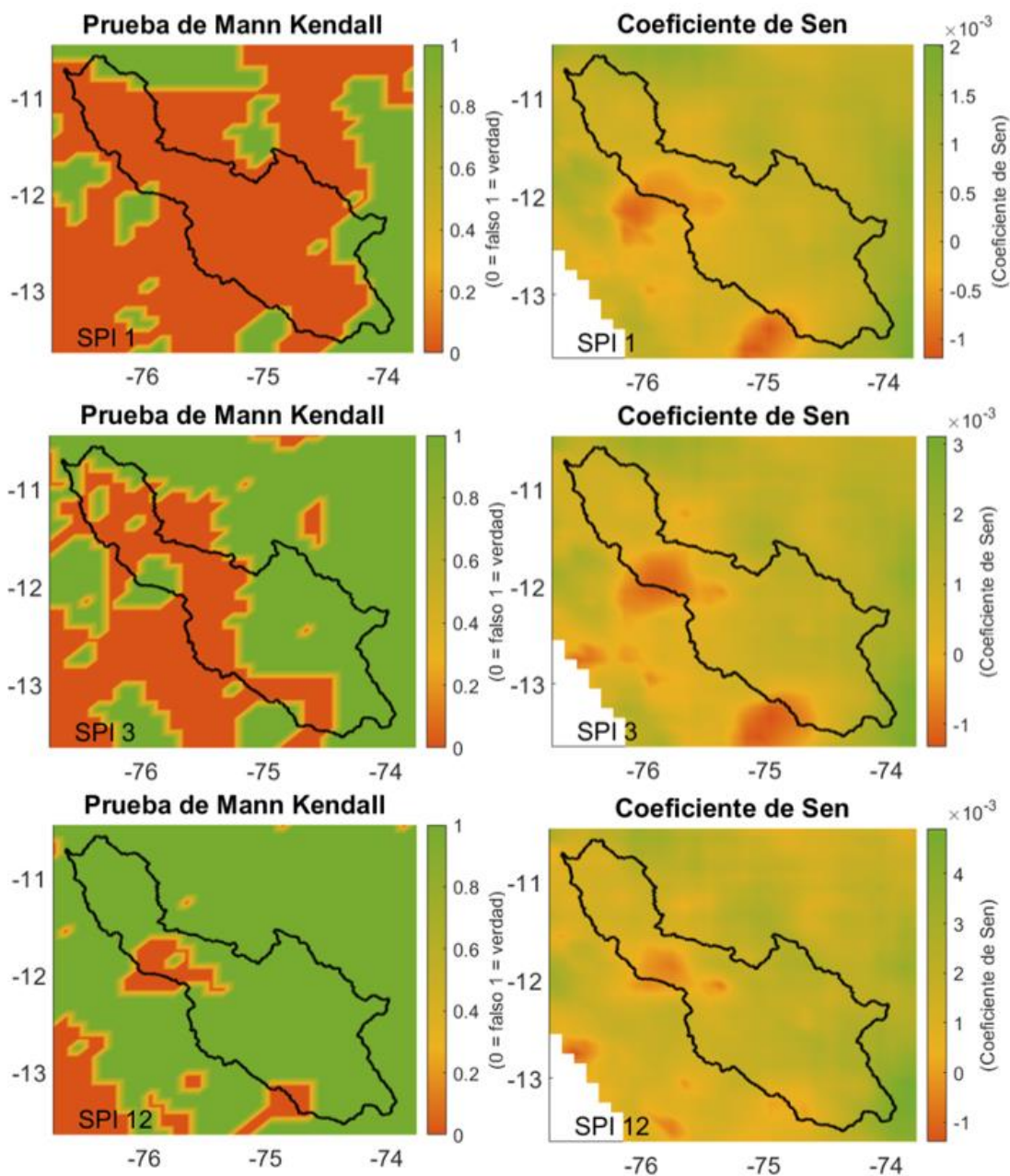
Variación espacial de la sequía (IPE-3)



Por lo que podemos concluir que los eventos de sequía que acontecen en la cuenca alta son más severos, intensos, con mayor duración y abarcan una extensión mayor, que los eventos de sequía que acontecen en la cuenca media y baja. Esta conclusión se verifica al analizar el gráfico de los tipos de sequía, donde observamos que las sequías extremas se ubican en la cuenca alta.

Análisis de las tendencias espacio temporales de las sequías

Para analizar las tendencias de manera espacial se ha determinado el coeficiente de Mann Kendal y la pendiente de Sen en cada grilla, el resultado de este análisis se muestra en la Figura 18. Para las sequías a corto plazo (IPE-1) se tienen que no existe mayores cambios en la ocurrencia espacial de estos eventos en la integridad de la cuenca (Mann Kendall > 0.05), salvo en la parte sur y norte en una franja que está influenciada por los datos fuera de la cuenca.

Figura 18*Tendencia espacial de las sequías*

Para la serie sequías a mediano plazo (IPE – 3), se observa una tendencia espacial (Mann Kendall < 0.05), en la cuenca baja. Esta tendencia indica un aumento de la precipitación (Coeficiente de Sen > 0.001). En el caso de las sequías a largo plazo (IPE – 12), se tiene una tendencia a disminuir estos eventos en la cuenca Alta y Media, por lo que podemos concluir que las tendencias espaciales de los eventos de sequías son a disminuir en la cuenca. a excepción de la cuenca media, que no presenta tendencias.

Estos resultados están fuertemente influenciados por la ausencia de eventos de sequía extrema después de 1992 en la cuenca del Mantaro.

5.3. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en el presente trabajo concuerdan con los obtenidos por Gálvez, (2017) en su tesis titulada “Caracterización de las sequías históricas y proyectadas bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del río Mantaro” en la que analiza las series observada de precipitación mensual de 37 estaciones (1970-2010) y las precipitación proyectada (2030-2070), sobre la base de seis escenarios de cambio climático, concluyendo que las eventos severos serían más recurrentes en la cuenca media, mientras que las sequías externas tendrían un comportamiento igual en toda la cuenca. En conclusión, entender las características espaciotemporales de las sequías en la cuenca del Mantaro es uno de los desafíos e importantes, por su incidencia negativa en la agricultura y los recursos hídricos.

5.4. Aporte científico de la investigación.

De acuerdo con el estudio, la cuenca alta es la que sobrelleva los eventos más extremos de sequía, por tal motivo el aporte de esta tesis es:

En la cuenca alta se debe redimensionar el embalse Junín, así como también planificar la construcción de nuevos embalses, además se debe adoptar medidas para incrementar la infiltración en el suelo como la construcción masiva de zanjas de infiltración en terrenos con pendiente y el establecimiento de plantaciones en las cabeceras de cuencas hidrográficas. Proteger la vegetación existente y realizar reforestaciones con plantas nativas. Además, se debe proteja las fuentes de aguas naturales y artificiales.

El aporte científico para la cuenca media y baja que son afectadas con sequías moderadas; pero más numerosas que las extremas es:

El usa racional del agua en los hogares, la tecnificación del riego, la siembra de árboles nativos en las laderas de la cuenca media y baja.

CONCLUSIONES

Problema general

Las sequías moderadas a corto plazo se presentan de forma regular en toda la cuenca. Las sequías severas a corto plazo acontecen más en la cuenca alta, mientras que el número de sequías extremas acontecen más en la cuenca media y baja. Especialmente los eventos de sequía que acontecen en la cuenca alta son más severos, intensos, con mayor duración y abarcan una extensión mayor. Mientras que, los eventos de sequía que acontecen en la cuenca media y baja abarcan una extensión menor.

Problema específico uno

El número de sequías a mediano plazo; moderadas, severas y extremas; se presentan mayormente en la cuenca media, sobre todo los eventos de sequías moderadas. El número de sequías a largo plazo que acontecen en la cuenca alta, media y baja no tienen diferencias.

En el periodo evaluado de 1980 a 2020, se han registrado los eventos más extremos en entre los años de 1985 a 1995. Mientras que en el periodo de 1995 al 2020 no se han registrado eventos extremos. Estos resultados influyen directamente en las tendencias espaciotemporales de las sequías en la cuenca del Mantaro.

Problema específico dos

Para las sequías a corto plazo se tienen que no existe mayores cambios en la ocurrencia espacial de estos eventos en la integridad de la cuenca. Mientras que, para las sequías a largo plazo existe tendencias a disminuir estos eventos en la cuenca alta y baja. Mientras que no existe tendencias en la cuenca media.

Para la serie de sequía a mediano plazo, se observa una tendencia espacial en la cuenca baja. Esta tendencia indica un aumento de la precipitación. Por lo tanto, una disminución espacial de los eventos de sequías.

Problema específico tres

Las sequías a corto plazo en la cuenca del Mantaro no muestran tendencias temporales en el periodo evaluado (1980 - 2020). Las sequías a largo plazo en la cuenca media no tienen tendencias en el tiempo. Mientras que, estos eventos tienden a disminuir en la cuenca alta y baja.

Las sequías a mediano plazo en la cuenca alta y media del Mantaro no presentan tendencias temporales. Mientras estos eventos de sequía en la cuenca baja tienden a disminuir.

SUGERENCIAS

- a) El análisis espacio temporal de las sequías nos permite iniciar el estudio de la dinámica, su impacto y monitoreo de los eventos de sequía en la cuenca del Mantaro. Por lo que se sugiere estudiar las causas y los efectos de las sequías, así como también realizar estudios que mejoren nuestra capacidad de predecir los eventos de sequías. Además, se recomienda extender el periodo de evaluación con la ayuda de los distintos escenarios de cambio climático existentes como los modelos del CMIP5 y CMIP6. Además, se recomienda ampliar el enfoque de los estudios de sequías incluyendo la investigación en el impacto de los cambios en el uso de la tierra en la susceptibilidad a la sequía, También se recomienda usar técnicas de detección remota y otras formas de análisis de datos para mejorar nuestra comprensión de la disponibilidad y utilización del agua en áreas identificadas como propensas a la sequía.
- b) Se recomienda las siguientes acciones para ayudar a mitigar los impactos de las sequías. En primer lugar, mejorar las prácticas de gestión del agua, que es un paso crucial; esto podría incluir medidas como aumentar los esfuerzos de conservación del agua, implementar sistemas de riego más eficientes e implementar esquemas de precios del agua que fomenten la conservación. En segundo lugar, aumentar el uso de fuentes alternativas de agua que puedan ayudar a mitigar los impactos de las sequías; esto podría incluir el fomento del uso de agua subterránea, agua de lluvia recolectada, el tratamiento de aguas servidas con fines agrícolas. Tercero, se recomienda la implementación de zanjas de infiltración, así como también la recuperación de los cauces de los ríos para facilitar la infiltración y la recarga de los acuíferos.
- c) Estas sugerencias pueden ser complejas y requieran una inversión significativa, pero es importante reconocer los posibles beneficios a largo plazo. Al reducir los impactos de las sequías, podemos ayudar a protegernos contra las pérdidas económicas, reducir la degradación ambiental y mejorar la resiliencia general de las comunidades frente al cambio climático.

REFERENCIAS

- Acuña, J., Felipe, O., and Fernández, C. (2015). Análisis regional de frecuencia de precipitación anual para la determinación de mapas de sequías en las cuencas Chillón, Rímac, Lurín y Alto Mantaro. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA*, 4, 93–108. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1064>
- Arikan, B., Kahya, B., and Ercan. (2018). Homogeneity revisited: analysis of updated precipitation series in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(1–2), 211–220. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2368-x>
- Arriaga, G. E., Paredes, J. C., Cohen, I. S., Valle, M. A. V., López, F. F., and Hurtado, P. B. (2019). Análisis temporal de sequías (1922-2016) en la cuenca alta del río Nazas usando el SPI y su relación con ENSO. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(5), 126–153. <https://doi.org/https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-05>
- Aybar, C., Fernández, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F., and Felipe-Obando, O. (2020). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day. *Hydrological Sciences Journal*, 65(5), 770–785. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411>
- Bethea, R. M. (1995). *Statistical methods for engineers and scientists* (C. Press (ed.); 3rd ed.). Routledge. <https://www.routledge.com/Statistical-Methods-for-Engineers-and-Scientists/Bethea/p/book/9780367401825>
- Buishand, T. A. (1982). Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology*, 58(1–2), 11–27. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(82\)90066-X](https://doi.org/10.1016/0022-1694(82)90066-X)
- Cai, W., McPhaden, M. J., Grimm, A. M., Rodrigues, R. R., Taschetto, A. S., Garreaud, R. D., Dewitte, B., Poveda, G., Ham, Y.-G., and Santoso, A. (2020). Climate impacts of the El Niño–southern oscillation on South America. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(4), 215–231. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0040-3>
- Cairampoma, J. A. (2021). *Análisis de sequías usando series sintéticas en la cuenca del río Mantaro*. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4931>
- Dabanlı, İ., Mishra, A. K., and Şen, Z. (2017). Long-term spatio-temporal drought variability in Turkey. *Journal of Hydrology*, 552, 779–792.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.038>

- Dracup, J. A., Lee, K. S., and Paulson, E. G. (1980). On the statistical characteristics of drought events. *Water Resources Research*, 16(2), 289–296. <https://doi.org/10.1029/WR016i002p00289>
- Dwivedi, D. K., and Shrivastava, P. K. (2019). Time Series Modelling of Monthly Temperature and Reference Evapotranspiration for Navsari (Gujarat), India. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 1–13. <https://doi.org/10.9734/cjast/2019/v35i630209>
- Endara Huanca, S. M., Acuña, D., Vega-Jácome, F., Febre, C., Correa, K., and Ávalos, G. (2019). *Caracterización espacio temporal de la sequía en los departamentos altoandinos del Perú (1981-2018)*. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/233>
- Eslamian, S., and Eslamian, F. A. (2017). *Principles of Drought and Water Scarcity*. CRC Press. [https://www.routledge.com/Handbook-of-Drought-and-Water-Scarcity-Principles-of-Drought-and-Water-Scarcity-Principles-of-Drought-and-Water-Scarcity-Eslamian-Eslamian/p/book/9781498731027](https://www.routledge.com/Handbook-of-Drought-and-Water-Scarcity-Principles-of-Drought-and-Water-Scarcity-Principles-of-Drought-and-Water-Scarcity-Principles-of-Drought-and-Water-Scarcity-Eslamian-Eslamian/p/book/9781498731027)
- Frick, D. M., Bode, D., and Salas, J. D. (1990). Effect of Drought on Urban Water Supplies. I: Drought Analysis. *Journal of Hydraulic Engineering*, 116(6), 733–753. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1990\)116:6\(733\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1990)116:6(733))
- Gálvez, A. (2017). *Caracterización de las sequías históricas y proyectadas bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del río Mantaro*. Universidad Nacional Agraria la Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3161>
- Instituto Geofísico del Perú. (2005). Diagnóstico de la Cuenca del Mantaro bajo la visión del cambio climático. In *Repositorio institucional - IGP: Vol. II*. Fondo Editorial del Consejo Nacional del Ambiente - CONAM. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/715>
- Kendall, M. (1975). Rank correlation methods. *San Francisco, CA*, 8. <https://www.jstor.org/stable/1165399>
- Lavado, W., Fernandez, C., Vega, F., Caycho, T., Endara, S., Huerta, A., and Obando, O. F. (2016). PISCO: Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations. *Precipitación vl. 0. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología*, 1–4.

<http://ons.ana.gob.pe:8080/maproom/Monitoring/Meteorological/reportePISCO2016.pdf>

- Loaiciga, H. A., and Leipnik, R. B. (1996). Stochastic renewal model of low-flow streamflow sequences. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 10(1), 65–85. <https://doi.org/10.1007/BF01581794>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245–259. <https://www.jstor.org/stable/1907187>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22), 179–183. https://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf
- Melo, S., Riveros, L., Romero, G., Álvarez, A., Diaz, C., and Calderón, S. (2017). Efectos económicos de futuras sequías en Colombia: Estimación a partir del Fenómeno El Niño 2015. *Archivos de Economía*, 466, 1–34. https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/9811/be_1105.pdf?sequence=1
- Mishra, A. K., and Desai, V. R. (2005). Drought forecasting using stochastic models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19(5), 326–339. <https://doi.org/10.1007/s00477-005-0238-4>
- Mishra, A. K., and Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1–2), 202–216. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2010.07.012>
- Organización Meteorológica Mundial. (2006). Vigilancia y alerta temprana de la sequía. In *Información meteorológica y climática para el desarrollo agrícola sostenible.: Vol. OMM-N° 100* (p. 28). OMM. https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_drought_monitoring_early_warning_es_2006.pdf
- Ortega-Gaucín, D. (2018). Medidas para afrontar la sequía en México: una visión retrospectiva. *Revista de El Colegio de San Luis*, 8(15), 77–105. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-899X2018000100077

- Panu, U. S., and Sharma, T. C. (2009). Analysis of annual hydrological droughts: the case of northwest Ontario, Canada. *Hydrological Sciences Journal*, 54(1), 29–42. <https://doi.org/10.1623/hysj.54.1.29>
- Salas, J. D., Yevjevich, V., and Lane, W. (1980). *Applied modeling of hydrologic time series* (1st ed.). Water Resources Publications. https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=43261&shelfbrowse_itemnumber=60273
- Sen, Z. (1976). Wet and dry periods of annual flow series. *Journal of the Hydraulics Division*, 102(10), 1503–1514. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JYCEAJ.0004634>
- SENAMHI. (2021). *Climas del Perú*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru#:~:text=Entre%20los%20climas%20de%20mayor,y%20c%C3%A1lido%20en%20la%20selva.&text=Seleccione%20la%20zona%20o%20el,la%20descripci%C3%B3n%20del%20clima%20correspondiente>.
- Şenaut, Z. (2015). *Applied drought modeling, prediction, and mitigation* (1st ed.). Elsevier. <https://www.elsevier.com/books/applied-drought-modeling-prediction-and-mitigation/sen/978-0-12-802176-7>
- Silva Vidal, Y., Takahashi, K., Cruz, N., Trasmonte, G., Mosquera, K., Nickl, E., Chavez, R., Segura, B., and Lagos, P. (2006). *Variability and climate change in the Mantaro river basin, Central Peruvian Andes*. <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/932>
- Silva, Y., Takahashi, K., and Chávez, R. (2008). Dry and wet rainy seasons in the Mantaro river basin (Central Peruvian Andes). *Advances in Geosciences*, 14, 261–264. <https://doi.org/10.5194/adgeo-14-261-2008>
- Sirdaş, S., and Sen, Z. (2003). Spatio-temporal drought analysis in the Trakya region, Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 48(5), 809–820. <https://doi.org/10.1623/hysj.48.5.809.51458>
- Svoboda, M., Hayes, M., and Wood, D. (2012). Índice Normalizado de Precipitación. Guía del Usuario. *Organización Meteorológica Mundial*, 1–23. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7769
- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Diaz, J., Vásquez, C., Castro, A., Tapia, M., and Alcántara, J. (2016). Manejo y gestión de cuencas

hidrográficas. *Universidad Nacional Agraria La Molina*.

[https://www.fondoeditorialunalm.com/wp-](https://www.fondoeditorialunalm.com/wp-content/uploads/2020/09/CUENCAS-HIDROGRAFICAS.pdf)

[content/uploads/2020/09/CUENCAS-HIDROGRAFICAS.pdf](https://www.fondoeditorialunalm.com/wp-content/uploads/2020/09/CUENCAS-HIDROGRAFICAS.pdf)

- Yevjevich, V. (1967). Objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. *Hydrology Paper 23, Colorado State U, Fort Collins, Aug 1967. 19 p, 9 Fig, 1 Tab, 12 Ref.* https://mountainscholar.org/bitstream/handle/10217/61303/HydrologyPapers_n23.pdf
- Yue, S., Pilon, P., and Cavadias, G. (2002). Power of the Mann–Kendall and Spearman’s rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259(1–4), 254–271. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00594-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00594-7)
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., and Khan, F. I. (2011). A review of drought indices. *Environmental Reviews*, 19(1), 333–349. <https://doi.org/10.1139/a11-013>

ANEXOS

ANEXO 01

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema de investigación	Objetivos	Hipótesis	VARIABLES e indicadores	Población y muestra
<p>Problema general</p> <p>¿Cuál es la tendencia temporal y espacial de las sequías en la cuenca del Mantaro?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>¿Cuántas sequías acontecieron en la cuenca del Mantaro en el periodo 1980 - 2020?</p> <p>¿Cuál es la tendencia espacial de las sequías en la cuenca del Mantaro para el período 1980-2020?</p> <p>¿Cuál es la tendencia temporal de las sequías en la cuenca del Mantaro para el periodo 1980-2020?</p>	<p>Objetivos Generales</p> <p>Caracterizar espacio temporal las sequías en el Perú basado en su duración, intensidad, severidad, utilizando el índice de precipitación estandarizado de 1, 3 y 12 meses en el periodo de 1980-2020. Determinar la tendencia espaciales y temporales de las sequías para el periodo de 1980-2020.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Caracterizar las sequías en la cuenca del Mantaro usando el índice de precipitación estandarizado</p> <p>Determinar las tendencias espacialmente de las sequías en la cuenca del Mantaro para el período 1980-2020.</p> <p>Determinar las tendencias temporalmente de las sequías en la cuenca del Mantaro para el periodo 1980-2020.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Las sequias en la cuenca del Mantaro no tienen tendencias a disminuir o aumentar.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>Las sequias en el tiempo no tienen a disminuir o aumentar.</p> <p>Las sequias en el espacio no tienen a disminuir o aumentar.</p> <p>Las sequias no muestran tendencias temporales.</p>	<p>Índice de precipitación estandarizado (SPI).</p> <p>0 > SPI > -0.99 Sequía leve</p> <p>-1.00 > SPI > -1.49 Sequía moderada</p> <p>-1.50 > SPI > -1.99 Sequía grave</p> <p>-2 > SPI Sequía extrema</p>	<p>La población está constituida por la precipitación que acontece en el ámbito de la cuenca del Mantaro</p> <p>Muestra son los datos grillados de precipitación llamado PISCOp V2.1 (Peruvian Interpolated data of SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations).</p>

ANEXO 02**CONSENTIMIENTO INFORMADO**

ID: _____

FECHA: _____

TÍTULO: TENDENCIAS DE LA EVOLUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL MANTARO (1980-2020)

OBJETIVO: - Caracterizar espacio temporal las sequías en el Perú basado en su duración, intensidad, severidad, utilizando el índice de precipitación estandarizado de 1, 3 y 12 meses en el periodo de 1980-2020. Determinar la tendencia espaciales y temporales de las sequías para el periodo de 1980-2020.

INVESTIGADOR: HILARIO ADRIANO ERACLIO URBANO

- **Consentimiento / Participación voluntaria**

Acepto participar en el estudio: He leído la información proporcionada, o me ha sido leída. He tenido la oportunidad de preguntar dudas sobre ello y se me ha respondido satisfactoriamente. Consiento voluntariamente participar en este estudio y entiendo que tengo el derecho de retirarme en cualquier momento de la intervención (tratamiento) sin que me afecte de ninguna manera.

- **Firmas del participante o responsable legal**

Huella digital si el caso lo amerita

Firma del participante: _____

Firma del investigador responsable _____



Huánuco, 2023

ANEXO 03



INSTRUMENTO GUÍA DE OBSERVACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN
ESCUELA DE POSGRADO

CARTILLA PARA LA TOMA DE DATOS METEOROLÓGICOS

Distrito _____ Provincia _____ Año _____ Mes _____

Día	Precipitación (mm)	Meteoros Observados			Temperatura (°C)	Humedad (%)	Presión hPa
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							

Consolidado Año _____ Mes _____

Precipitación máxima en un día		día	
Precipitación mínima en un día		día	
Días de precipitación con < 1 mm			
Días de precipitación con \geq 1 mm			
Días de precipitación con \geq 2.5 mm			
Días de precipitación con \geq 5 mm			
Días de precipitación con \geq 7.5 mm			
Días de precipitación con > 10 mm			
TOTAL, MENSUAL DE PRECIPITACIÓN			

Detalles para meteoros observados

Meteoro	símbolo	Número de días
Lluvia	Ⓟ	
Nieve	○	
Tormenta	⚡	
Granizo	◇	
Niebla	≡	
Rocío	Ω	
Escarcha	△	
Helada	e	

Marca de estación _____ Modelo _____

Altura sobre el nivel del mar _____

Nombre del observador _____

Observaciones

ANEXO 04

VALIDACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS POR EXPERTOS

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

Nombre del experto: **Dr. Hickey Emilio Córdova Herrera** , Especialidad: **Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible**

“Calificar con 1, 2, 3 o 4 cada ítem respecto a los criterios de relevancia, coherencia, suficiencia y claridad”

DIMENSIÓN	ÍTEM	RELEVANCIA	COHERENCIA	SUFICIENCIA	CLARIDAD
Calidad	Está formulado con lenguaje apropiado	4	4	4	4
Objetividad	Está expresado en conducta observable	4	4	4	3
Actualidad	Adecuado el avance de la ciencia y tecnología	3	3	4	4
Organización	Existe una organización lógica	4	4	4	3
Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad	4	4	4	4
Intencionalidad	Adecuado para mejorar las actividades respecto a la conservación de medio ambiente	4	3	4	4
Consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos actuales	4	4	3	4
Coherencia	Entre los índices, indicadores y las dimensiones	4	4	4	4
Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico	3	4	4	3

¿Hay alguna dimensión o ítem que no fue evaluada? SI () NO (X) En caso de Sí, ¿Qué dimensión o ítem falta? _____

DECISIÓN DEL EXPERTO:

El instrumento debe ser aplicado:

SI (X) NO ()



 Firma del experto

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

Nombre del experto: **Dr. Antonio Florencio Blas Arauco** , Especialidad: **Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible**

“Calificar con 1, 2, 3 o 4 cada ítem respecto a los criterios de relevancia, coherencia, suficiencia y claridad”

DIMENSIÓN	ÍTEM	RELEVANCIA	COHERENCIA	SUFICIENCIA	CLARIDAD
Calidad	Está formulado con lenguaje apropiado	4	4	4	4
Objetividad	Está expresado en conducta observable	4	4	4	3
Actualidad	Adecuado el avance de la ciencia y tecnología	3	3	4	4
Organización	Existe una organización lógica	4	4	4	3
Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad	4	4	4	4
Intencionalidad	Adecuado para mejorar las actividades respecto a la conservación de medio ambiente	4	3	4	4
Consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos actuales	4	4	3	4
Coherencia	Entre los índices, indicadores y las dimensiones	4	4	4	4
Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico	3	4	4	3

¿Hay alguna dimensión o ítem que no fue evaluada? SI () NO (X) En caso de Sí, ¿Qué dimensión o ítem falta? _____

DECISIÓN DEL EXPERTO:

El instrumento debe ser aplicado: SI (X) NO ()


.....
Firma del experto

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

Nombre del experto: **Dr. Humberto Sánchez Villanueva** , Especialidad: **Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible**

“Calificar con 1, 2, 3 o 4 cada ítem respecto a los criterios de relevancia, coherencia, suficiencia y claridad”

DIMENSIÓN	ÍTEM	RELEVANCIA	COHERENCIA	SUFICIENCIA	CLARIDAD
Calidad	Está formulado con lenguaje apropiado	4	4	4	4
Objetividad	Está expresado en conducta observable	4	4	4	3
Actualidad	Adecuado el avance de la ciencia y tecnología	3	3	4	4
Organización	Existe una organización lógica	4	4	4	3
Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad	4	4	4	4
Intencionalidad	Adecuado para mejorar las actividades respecto a la conservación de medio ambiente	4	3	4	4
Consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos actuales	4	4	3	4
Coherencia	Entre los índices, indicadores y las dimensiones	4	4	4	4
Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico	3	4	4	3

¿Hay alguna dimensión o ítem que no fue evaluada? SI () NO (X) En caso de Sí, ¿Qué dimensión o ítem falta? _____

DECISIÓN DEL EXPERTO:

El instrumento debe ser aplicado:

SI (X) NO ()


 Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

 Dr. Humberto Sánchez Villanueva
 VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTONombre del experto: **Dr. Zenón Temistodes Mata Adawto** , Especialidad: **Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible***“Calificar con 1, 2, 3 o 4 cada ítem respecto a los criterios de relevancia, coherencia, suficiencia y claridad”*

DIMENSIÓN	ÍTEM	RELEVANCIA	COHERENCIA	SUFICIENCIA	CLARIDAD
Calidad	Está formulado con lenguaje apropiado	4	4	4	4
Objetividad	Está expresado en conducta observable	4	4	4	3
Actualidad	Adecuado el avance de la ciencia y tecnología	3	3	4	4
Organización	Existe una organización lógica	4	4	4	3
Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad	4	4	4	4
Intencionalidad	Adecuado para mejorar las actividades respecto a la conservación de medio ambiente	4	3	4	4
Consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos actuales	4	4	3	4
Coherencia	Entre los índices, indicadores y las dimensiones	4	4	4	4
Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico	3	4	4	3

¿Hay alguna dimensión o ítem que no fue evaluada? SI () NO (X) En caso de Sí, ¿Qué dimensión o ítem falta? _____

DECISIÓN DEL EXPERTO:

El instrumento debe ser aplicado:

SI (X) NO ()


Firma y Sello

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTONombre del experto: **Dra. Lia Ramos Fernández**, Especialidad: **Ingeniería del agua y medio ambiente***“Calificar con 1, 2, 3 o 4 cada ítem respecto a los criterios de relevancia, coherencia, suficiencia y claridad”*

DIMENSIÓN	ÍTEM	RELEVANCIA	COHERENCIA	SUFICIENCIA	CLARIDAD
Calidad	Está formulado con lenguaje apropiado	4	4	4	4
Objetividad	Está expresado en conducta observable	4	4	4	3
Actualidad	Adecuado el avance de la ciencia y tecnología	3	3	4	4
Organización	Existe una organización lógica	4	4	4	3
Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad	4	4	4	4
Intencionalidad	Adecuado para mejorar las actividades respecto a la conservación de medio ambiente	4	3	4	4
Consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos actuales	4	4	3	4
Coherencia	Entre los índices, indicadores y las dimensiones	4	4	4	4
Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico	3	4	4	3

¿Hay alguna dimensión o ítem que no fue evaluada? SI () NO (X) En caso de Sí, ¿Qué dimensión o ítem falta? _____

DECISIÓN DEL EXPERTO:

El instrumento debe ser aplicado:

SI (X) NO ()



.....
Firma del experto

ANEXO 05

Con relación a los cálculos y procedimientos de la tesis

Tabla 6

Sequías identificadas en la cuenca alta IPE - 1

Duración	Severidad	Intensidad	Tipo de Sequía
1	-1.214	-1.214	1
1	-2.038	-2.038	3
1	-1.294	-1.294	1
1	-1.020	-1.020	1
1	-1.154	-1.154	1
1	-3.569	-3.569	3
1	-1.085	-1.085	1
1	-1.450	-1.450	1
1	-1.102	-1.102	1
1	-1.403	-1.403	1
1	-1.723	-1.723	2
1	-1.710	-1.710	2
1	-1.011	-1.011	1
1	-1.046	-1.046	1
1	-1.374	-1.374	1
1	-1.720	-1.720	2
1	-1.857	-1.857	2
1	-1.465	-1.465	1
1	-1.814	-1.814	2
1	-1.197	-1.197	1
1	-1.545	-1.545	2
2	-2.162	-1.146	1
1	-1.185	-1.185	1
1	-2.492	-2.492	3
2	-3.058	-1.715	2
1	-1.946	-1.946	2
1	-2.350	-2.350	3
1	-1.439	-1.439	1
2	-4.375	-2.837	3
1	-1.462	-1.462	1
1	-1.393	-1.393	1
1	-1.208	-1.208	1
3	-5.595	-2.301	3
1	-1.146	-1.146	1
1	-1.265	-1.265	1
2	-4.945	-2.611	3
1	-2.478	-2.478	3
1	-1.572	-1.572	2
3	-4.491	-1.746	2
1	-1.612	-1.612	2
3	-6.142	-2.383	3
2	-6.022	-3.979	3
2	-3.214	-1.848	2
1	-1.444	-1.444	1

2	-3.433	-1.932	2
2	-2.671	-1.657	2
1	-1.778	-1.778	2
1	-2.370	-2.370	3
1	-1.095	-1.095	1
1	-1.262	-1.262	1
2	-2.991	-1.693	2
1	-1.237	-1.237	1
1	-1.674	-1.674	2
1	-1.855	-1.855	2
1	-1.871	-1.871	2
4	-7.875	-2.467	3

Nota, 1 es moderada, 2 es severa 3 extrema

Tabla 7

Sequías identificadas en la cuenca alta IPE - 3

Duración	Severidad	Intensidad	Tipo de Sequía
1	-1.325	-1.325	1
1	-1.095	-1.095	1
1	-1.284	-1.284	1
2	-2.460	-1.361	1
4	-5.144	-1.584	2
1	-1.240	-1.240	1
4	-5.940	-1.963	2
2	-2.100	-1.050	1
6	-9.535	-2.260	3
2	-2.254	-1.136	1
3	-4.561	-2.039	3
3	-5.916	-2.264	3
2	-3.550	-2.100	3
5	-8.275	-2.681	3
1	-1.225	-1.225	1
4	-9.005	-2.855	3
1	-1.021	-1.021	1
4	-7.879	-2.632	3
1	-1.030	-1.030	1
4	-7.455	-2.210	3
1	-1.758	-1.758	2
6	-16.702	-3.390	3
1	-1.598	-1.598	2
1	-1.171	-1.171	1
3	-5.547	-1.991	3
2	-3.376	-1.876	2
1	-1.146	-1.146	1
1	-1.198	-1.198	1
2	-2.359	-1.281	1
1	-1.270	-1.270	1

Tabla 8*Sequías identificadas en la cuenca alta IPE - 12*

Duración	Severidad	Intensidad	Tipo de Sequía
1	-1.068	-1.068	1
5	-6.707	-1.729	2
9	-12.233	-1.577	2
1	-1.055	-1.055	1
8	-11.240	-1.476	1
25	-52.796	-3.296	3
12	-30.271	-3.426	3
1	-1.008	-1.008	1

Tabla 9*Sequías identificadas en la cuenca media IPE - 1*

Duración	Severidad	Intensidad	Tipo de Sequía
1	-1.282	-1.282	1
1	-1.099	-1.099	1
1	-2.062	-2.062	3
1	-1.600	-1.600	2
1	-1.255	-1.255	1
1	-1.016	-1.016	1
1	-1.661	-1.661	2
1	-1.372	-1.372	1
1	-1.036	-1.036	1
2	-2.462	-1.274	1
1	-1.435	-1.435	1
1	-1.537	-1.537	2
2	-3.587	-2.021	3
2	-2.737	-1.455	1
1	-1.036	-1.036	1
1	-1.061	-1.061	1
1	-2.153	-2.153	3
1	-1.052	-1.052	1
1	-1.036	-1.036	1
1	-1.054	-1.054	1
2	-3.209	-1.679	2
1	-2.115	-2.115	3
1	-2.626	-2.626	3
1	-1.036	-1.036	1

1	-1.132	-1.132	1
1	-2.458	-2.458	3
2	-2.800	-1.521	2
1	-1.847	-1.847	2
1	-1.282	-1.282	1
1	-2.085	-2.085	3
1	-2.084	-2.084	3
2	-3.648	-2.495	3
1	-2.136	-2.136	3
2	-3.614	-2.362	3
1	-1.631	-1.631	2
2	-2.287	-1.250	1
1	-1.734	-1.734	2
1	-1.269	-1.269	1
2	-3.915	-2.698	3
6	-11.280	-2.042	3
1	-1.282	-1.282	1
2	-3.116	-1.748	2
2	-3.326	-2.064	3
1	-2.740	-2.740	3
1	-1.844	-1.844	2
1	-1.361	-1.361	1
2	-2.561	-1.429	1
1	-1.218	-1.218	1
1	-1.036	-1.036	1
1	-1.061	-1.061	1
1	-1.081	-1.081	1
1	-2.227	-2.227	3
1	-2.737	-2.737	3
1	-1.053	-1.053	1
2	-2.905	-1.582	2

Tabla 10*Sequías identificadas en la cuenca media IPE - 3*

Duración	Severidad	Intensidad	Tipo de Sequía
3	-4.215	-1.659	2
1	-1.073	-1.073	1
1	-1.209	-1.209	1
1	-1.026	-1.026	1
4	-6.218	-2.186	3
1	-1.045	-1.045	1
3	-3.463	-1.280	1
3	-5.214	-1.942	2
1	-1.582	-1.582	2
1	-1.086	-1.086	1

2	-2.957	-1.858	2
1	-1.171	-1.171	1
3	-5.265	-1.948	2
1	-1.018	-1.018	1
1	-1.334	-1.334	1
2	-4.814	-2.741	3
1	-1.372	-1.372	1
3	-4.537	-2.036	3
1	-1.163	-1.163	1
5	-9.831	-2.688	3
1	-1.170	-1.170	1
2	-3.269	-2.084	3
3	-3.745	-1.336	1
2	-2.768	-1.405	1
1	-1.534	-1.534	2
1	-1.030	-1.030	1
1	-1.020	-1.020	1
3	-5.107	-2.116	3
8	-17.932	-2.974	3
2	-2.909	-1.894	2
4	-6.405	-2.121	3
1	-1.748	-1.748	2
1	-1.134	-1.134	1
2	-2.544	-1.489	1
2	-2.170	-1.087	1
3	-3.574	-1.382	1
1	-1.592	-1.592	2

Tabla 11*Sequías identificadas en la cuenca media IPE - 12*

Duración	Severidad	Intensidad	Tipo de Sequía
12	-16.419	-1.968	2
1	-1.190	-1.190	1
13	-17.709	-1.805	2
6	-7.221	-1.282	1
1	-1.472	-1.472	1
3	-3.523	-1.420	1
1	-1.339	-1.339	1
8	-10.459	-1.471	1
1	-1.033	-1.033	1
15	-38.820	-3.370	3
8	-10.885	-1.561	2

Tabla 12*Sequías identificadas en la cuenca baja IPE - 1*

Duración	Severidad	Intensidad	Tipo de Sequía
1	-1.097	-1.097	1
1	-1.646	-1.646	2
1	-1.619	-1.619	2
1	-1.109	-1.109	1
1	-1.106	-1.106	1
1	-2.579	-2.579	3
1	-1.236	-1.236	1
1	-1.142	-1.142	1
1	-1.049	-1.049	1
1	-1.374	-1.374	1
1	-1.670	-1.670	2
1	-1.739	-1.739	2
2	-4.176	-2.332	3
1	-1.645	-1.645	2
1	-1.551	-1.551	2
1	-2.411	-2.411	3
1	-1.645	-1.645	2
1	-1.207	-1.207	1
2	-2.467	-1.260	1
1	-1.139	-1.139	1
2	-3.512	-2.092	3
1	-1.361	-1.361	1
1	-1.067	-1.067	1
1	-1.181	-1.181	1
1	-1.512	-1.512	2
1	-1.437	-1.437	1
1	-2.257	-2.257	3
1	-2.260	-2.260	3
1	-1.374	-1.374	1
1	-2.303	-2.303	3
1	-1.178	-1.178	1
1	-1.298	-1.298	1
1	-1.129	-1.129	1
2	-2.826	-1.484	1
1	-2.236	-2.236	3
4	-7.956	-2.784	3
1	-1.540	-1.540	2
2	-2.417	-1.240	1
3	-5.229	-3.094	3
1	-2.358	-2.358	3
1	-1.222	-1.222	1
1	-1.229	-1.229	1

3	-6.017	-2.257	3
1	-3.471	-3.471	3
2	-2.896	-1.484	1
1	-1.597	-1.597	2
2	-3.836	-2.686	3
1	-1.669	-1.669	2
1	-1.674	-1.674	2
1	-1.552	-1.552	2
2	-5.174	-2.798	3
3	-5.744	-2.045	3
1	-1.110	-1.110	1
1	-1.750	-1.750	2
1	-1.741	-1.741	2
1	-1.768	-1.768	2

Tabla 13*Sequías identificadas en la cuenca baja IPE - 3*

Duración	Severidad	Intensidad	Tipo de Sequía
1	-1.011	-1.011	1
1	-1.431	-1.431	1
1	-1.288	-1.288	1
1	-1.365	-1.365	1
1	-1.786	-1.786	2
4	-6.516	-2.430	3
1	-1.014	-1.014	1
2	-3.979	-2.100	3
1	-1.111	-1.111	1
1	-1.409	-1.409	1
1	-1.993	-1.993	3
3	-3.539	-1.302	1
2	-2.819	-1.632	2
1	-1.902	-1.902	2
2	-2.571	-1.545	2
1	-1.282	-1.282	1
1	-1.043	-1.043	1
1	-1.678	-1.678	2
1	-1.283	-1.283	1
1	-1.203	-1.203	1
6	-14.571	-3.033	3
3	-3.655	-1.411	1
5	-9.931	-2.899	3
1	-1.147	-1.147	1
3	-7.144	-3.120	3
2	-3.641	-1.912	2
3	-4.635	-1.755	2

2	-2.905	-1.716	2
2	-2.439	-1.228	1
1	-1.228	-1.228	1
2	-4.866	-3.019	3
4	-7.918	-2.968	3
1	-1.011	-1.011	1
1	-2.218	-2.218	3
1	-1.383	-1.383	1

Tabla 14

Sequías identificadas en la cuenca baja IPE - 12

Duración	Severidad	Intensidad	Tipo de Sequía
12	-14.767	-1.401	1
1	-1.046	-1.046	1
2	-2.125	-1.099	1
1	-1.019	-1.019	1
1	-1.320	-1.320	1
14	-35.406	-3.165	3
1	-1.352	-1.352	1
9	-18.645	-2.439	3
11	-15.602	-1.889	2
2	-3.361	-1.927	2
8	-12.233	-1.691	2
4	-5.853	-1.685	2

Tabla 20

Valores de Sen (IPE - 12)

	-76.75	-76.65	-76.55	-76.45	-76.35	-76.25	-76.15	-76.05	-75.95	-75.85	-75.75	-75.65	-75.55	-75.45	-75.35	-75.25	-75.15	-75.05	-74.95	-74.85	-74.75	-74.65	-74.55	-74.45	-74.35	-74.25	-74.15	-74.05	-73.95	-73.85	-73.75	
-10.45	0.0031	0.0022	0.0017	0.0017	0.0021	0.0022	0.0023	0.0032	0.0030	0.0029	0.0024	0.0019	0.0022	0.0018	0.0019	0.0016	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007	0.0010	0.0011	0.0012	0.0013	0.0014	0.0013	0.0013	0.0009	0.0006	0.0010	
-10.55	0.0029	0.0019	0.0016	0.0016	0.0021	0.0022	0.0026	0.0033	0.0031	0.0032	0.0029	0.0024	0.0027	0.0023	0.0024	0.0022	0.0017	0.0017	0.0014	0.0010	0.0009	0.0012	0.0013	0.0014	0.0016	0.0017	0.0020	0.0020	0.0014	0.0010	0.0011	
-10.65	0.0002	0.0009	0.0011	0.0012	0.0015	0.0015	0.0021	0.0029	0.0028	0.0029	0.0036	0.0021	0.0024	0.0018	0.0018	0.0019	0.0016	0.0017	0.0015	0.0011	0.0009	0.0011	0.0011	0.0012	0.0015	0.0016	0.0017	0.0018	0.0015	0.0013	0.0014	
-10.75	0.0003	0.0009	0.0011	0.0011	0.0011	0.0012	0.0017	0.0026	0.0025	0.0025	0.0023	0.0023	0.0027	0.0021	0.0022	0.0021	0.0019	0.0022	0.0021	0.0021	0.0019	0.0019	0.0016	0.0013	0.0015	0.0019	0.0019	0.0018	0.0017	0.0017	0.0018	
-10.85	0.0009	0.0011	0.0014	0.0013	0.0013	0.0013	0.0018	0.0024	0.0020	0.0022	0.0023	0.0023	0.0027	0.0021	0.0022	0.0021	0.0019	0.0020	0.0021	0.0021	0.0019	0.0016	0.0013	0.0015	0.0019	0.0019	0.0020	0.0020	0.0018	0.0018	0.0018	
-10.95	0.0010	0.0008	0.0013	0.0014	0.0015	0.0015	0.0019	0.0024	0.0015	0.0018	0.0018	0.0017	0.0020	0.0015	0.0017	0.0015	0.0014	0.0020	0.0021	0.0021	0.0019	0.0016	0.0012	0.0011	0.0015	0.0019	0.0020	0.0020	0.0017	0.0016	0.0016	
-11.05	0.0013	0.0011	0.0013	0.0012	0.0014	0.0015	0.0012	0.0016	0.0017	0.0020	0.0019	0.0016	0.0018	0.0015	0.0019	0.0021	0.0022	0.0026	0.0025	0.0022	0.0019	0.0017	0.0015	0.0017	0.0022	0.0022	0.0023	0.0024	0.0020	0.0019	0.0016	
-11.15	0.0013	0.0010	0.0009	0.0011	0.0013	0.0011	0.0008	0.0014	0.0017	0.0017	0.0013	0.0009	0.0010	0.0009	0.0017	0.0021	0.0023	0.0026	0.0023	0.0021	0.0020	0.0020	0.0010	0.0011	0.0015	0.0018	0.0020	0.0022	0.0019	0.0021	0.0019	
-11.25	0.0016	0.0011	0.0009	0.0013	0.0015	0.0013	0.0011	0.0016	0.0016	0.0016	0.0013	0.0003	0.0010	0.0011	0.0020	0.0024	0.0026	0.0028	0.0025	0.0023	0.0018	0.0009	0.0010	0.0014	0.0019	0.0022	0.0022	0.0023	0.0020	0.0023	0.0021	
-11.35	0.0019	0.0014	0.0012	0.0013	0.0015	0.0015	0.0016	0.0018	0.0015	0.0016	0.0013	0.0002	0.0017	0.0017	0.0024	0.0027	0.0026	0.0030	0.0029	0.0025	0.0017	0.0010	0.0010	0.0014	0.0019	0.0022	0.0022	0.0021	0.0026	0.0026	0.0024	
-11.45	0.0015	0.0009	0.0010	0.0012	0.0012	0.0012	0.0014	0.0016	0.0012	0.0011	0.0014	0.0010	0.0014	0.0014	0.0020	0.0023	0.0022	0.0026	0.0028	0.0024	0.0017	0.0011	0.0012	0.0016	0.0020	0.0021	0.0020	0.0023	0.0022	0.0028	0.0027	
-11.55	0.0008	0.0000	0.0008	0.0015	0.0014	0.0010	0.0010	0.0012	0.0011	0.0013	0.0010	0.0010	0.0012	0.0014	0.0020	0.0022	0.0022	0.0026	0.0028	0.0028	0.0023	0.0017	0.0015	0.0016	0.0020	0.0020	0.0020	0.0023	0.0024	0.0031	0.0030	
-11.65	0.0009	0.0008	0.0020	0.0021	0.0015	0.0007	0.0007	0.0008	0.0002	0.0004	0.0005	0.0007	0.0014	0.0018	0.0019	0.0017	0.0013	0.0018	0.0021	0.0021	0.0026	0.0026	0.0024	0.0029	0.0030	0.0031	0.0024	0.0024	0.0029	0.0029	0.0029	
-11.75	0.0022	0.0018	0.0019	0.0019	0.0016	0.0008	0.0006	0.0006	0.0000	-0.0002	-0.0003	0.0003	0.0014	0.0018	0.0019	0.0023	0.0022	0.0016	0.0019	0.0021	0.0027	0.0027	0.0025	0.0024	0.0031	0.0029	0.0026	0.0026	0.0032	0.0032	0.0031	
-11.85	0.0030	0.0026	0.0016	0.0015	0.0018	0.0016	0.0007	0.0003	-0.0002	-0.0004	-0.0007	0.0000	0.0012	0.0019	0.0023	0.0022	0.0016	0.0019	0.0022	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0022	0.0021	0.0021	0.0022	0.0029	0.0031	0.0036	0.0034	
-11.95	0.0035	0.0028	0.0023	0.0017	0.0017	0.0012	0.0008	0.0003	-0.0001	-0.0003	-0.0004	-0.0001	0.0007	0.0007	0.0010	0.0017	0.0020	0.0021	0.0020	0.0023	0.0023	0.0023	0.0024	0.0020	0.0021	0.0021	0.0022	0.0027	0.0027	0.0033	0.0031	
-12.05	0.0032	0.0030	0.0023	0.0017	0.0015	0.0009	0.0004	-0.0001	-0.0004	-0.0002	-0.0001	0.0001	0.0004	-0.0001	-0.0007	0.0010	0.0021	0.0024	0.0021	0.0024	0.0024	0.0024	0.0023	0.0024	0.0021	0.0022	0.0022	0.0023	0.0028	0.0028	0.0028	
-12.15	0.0027	0.0021	0.0016	0.0014	0.0008	0.0006	0.0004	0.0005	0.0004	0.0005	0.0004	0.0006	0.0006	0.0002	0.0003	0.0003	0.0010	0.0017	0.0021	0.0019	0.0020	0.0020	0.0019	0.0019	0.0018	0.0021	0.0021	0.0023	0.0021	0.0024	0.0026	
-12.25	0.0025	0.0019	0.0018	0.0019	0.0015	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0009	0.0016	0.0013	0.0009	0.0012	0.0012	0.0020	0.0020	0.0020	0.0021	0.0019	0.0018	0.0017	0.0020	0.0016	0.0021	0.0021	0.0025	0.0021	0.0024	0.0025	
-12.35	0.0010	0.0010	0.0013	0.0013	0.0017	0.0017	0.0016	0.0016	0.0017	0.0020	0.0021	0.0019	0.0015	0.0012	0.0015	0.0019	0.0019	0.0020	0.0020	0.0021	0.0019	0.0018	0.0012	0.0020	0.0020	0.0026	0.0024	0.0027	0.0024	0.0025	0.0026	
-12.45	0.0010	0.0006	0.0009	0.0012	0.0016	0.0018	0.0020	0.0018	0.0017	0.0019	0.0020	0.0018	0.0015	0.0013	0.0016	0.0018	0.0018	0.0018	0.0019	0.0023	0.0018	0.0018	0.0011	0.0020	0.0020	0.0026	0.0025	0.0029	0.0026	0.0027	0.0027	
-12.55	0.0005	0.0005	0.0007	0.0008	0.0013	0.0018	0.0019	0.0019	0.0016	0.0018	0.0018	0.0016	0.0016	0.0016	0.0017	0.0017	0.0015	0.0019	0.0021	0.0021	0.0023	0.0024	0.0024	0.0024	0.0027	0.0029	0.0028	0.0032	0.0028	0.0029	0.0028	
-12.65	0.0001	-0.0004	-0.0005	0.0002	0.0003	0.0010	0.0014	0.0016	0.0017	0.0018	0.0018	0.0016	0.0016	0.0016	0.0018	0.0019	0.0020	0.0020	0.0020	0.0021	0.0022	0.0022	0.0025	0.0027	0.0028	0.0027	0.0033	0.0031	0.0032	0.0031	0.0032	
-12.75	-0.0005	-0.0014	-0.0006	0.0002	0.0012	0.0009	0.0013	0.0017	0.0017	0.0018	0.0016	0.0014	0.0014	0.0015	0.0018	0.0019	0.0020	0.0020	0.0019	0.0020	0.0021	0.0022	0.0024	0.0029	0.0027	0.0033	0.0031	0.0035	0.0035	0.0037	0.0037	
-12.85		-0.0002	0.0000	0.0007	0.0012	0.0010	0.0010	0.0015	0.0016	0.0017	0.0014	0.0012	0.0013	0.0014	0.0015	0.0018	0.0020	0.0020	0.0019	0.0021	0.0021	0.0022	0.0025	0.0023	0.0029	0.0027	0.0030	0.0036	0.0035	0.0039	0.0041	
-12.95			0.0001	0.0009	0.0011	0.0010	0.0012	0.0014	0.0014	0.0016	0.0012	0.0008	0.0010	0.0012	0.0017	0.0019	0.0017	0.0014	0.0015	0.0017	0.0016	0.0017	0.0022	0.0019	0.0023	0.0025	0.0026	0.0035	0.0037	0.0042	0.0043	
-13.05			0.0006	0.0008	0.0009	0.0012	0.0015	0.0013	0.0013	0.0014	0.0009	-0.0002	0.0006	0.0008	0.0015	0.0019	0.0014	0.0010	0.0011	0.0011	0.0010	0.0011	0.0017	0.0016	0.0019	0.0018	0.0022	0.0036	0.0043	0.0049	0.0049	
-13.15				0.0004	0.0006	0.0011	0.0013	0.0013	0.0009	0.0010	0.0008	0.0004	0.0006	0.0009	0.0014	0.0015	0.0015	0.0013	0.0006	0.0005	0.0005	0.0006	0.0014	0.0017	0.0021	0.0020	0.0023	0.0036	0.0043	0.0048	0.0048	
-13.25					0.0006	0.0006	0.0013	0.0013	0.0006	0.0008	0.0011	0.0008	0.0011	0.0014	0.0015	0.0013	0.0011	0.0008	0.0001	0.0002	0.0004	0.0003	0.0010	0.0016	0.0022	0.0025	0.0029	0.0038	0.0045	0.0048	0.0048	
-13.35						0.0004	0.0012	0.0014	0.0002	0.0005	0.0008	0.0008	0.0011	0.0014	0.0015	0.0013	0.0010	0.0008	0.0003	0.0004	0.0003	0.0004	0.0008	0.0013	0.0019	0.0026	0.0031	0.0039	0.0046	0.0048	0.0048	
-13.45							0.0005	0.0010	0.0007	-0.0004	0.0006	0.0009	0.0012	0.0013	0.0012	0.0008	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0004	0.0010	0.0014	0.0019	0.0026	0.0033	0.0038	0.0043	0.0044	0.0044	0.0044	
-13.55								0.0003	0.0010	0.0008	-0.0006	0.0001	0.0010	0.0010	0.0011	0.0009	0.0005	0.0003	0.0006	0.0008	0.0009	0.0009	0.0014	0.0018	0.0021	0.0025	0.0029	0.0035	0.0042	0.0045	0.0044	0.0044
-13.65									0.0003	0.0013	0.0008	0.0003	0.0005	0.0011	0.0011	0.0009	0.0006	0.0006	0.0006	0.0008	0.0009	0.0010	0.0011	0.0015	0.0018	0.0020	0.0022	0.0028	0.0036	0.0038	0.0038	0.0039

DATOS BIOGRÁFICA

Hilario Adriano Eraclio Urbano nació en el distrito de Chongos Alto, provincia Huancayo el 07 de diciembre de 1955. Sus estudios lo realizaron en el nivel primario: C.E. 511 Huancayo, nivel secundario: G.U.E. Túpac Amaru – Huancayo, nivel superior, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión – Pasco, estado civil casado, de profesión Ingeniero Zootecnista. Dirección domiciliaria. Actualmente viene trabajando en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, condición de Profesor principal a D.E.

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DEL CONSEJO DIRECTIVO N° 099-2019-SUNEDU/CD



Huánuco – Perú

ESCUELA DE POSGRADO

Campus Universitario, Pabellón V "A" 2do. Piso – Cayhuayna
Teléfono 514760 -Pág. Web. www.posgrado.unheval.edu.pe



ACTA DE DEFENSA DE TESIS DE DOCTOR

En la Plataforma Microsoft Teams de la Escuela de Posgrado; siendo las **19:30h**, del día **lunes 29 DE MAYO DE 2023**; el aspirante al **Grado de Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible**, **Don Eraclio Urbano HILARIO ADRIANO**, procedió al acto de Defensa de su Tesis titulado: **"TENDENCIAS DE LA EVOLUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL MANTARO (1980-2020)"** ante los miembros del Jurado de Tesis señores:

Dr. Amancio Ricardo ROJAS COTRINA	Presidente
Dra. Ana María MATOS RAMIREZ	Secretaria
Dra. Nerida del Carmen PASTRANA DIAZ	Vocal
Dra. Guadalupe RAMIREZ REYES	Vocal
Dra. Rosalinda RAMIREZ MONTALDO	Vocal

Asesor (a) de tesis: Dr. Tito MALLMA CAPCHA (Resolución N° 0322-2022-UNHEVAL/EPG-D)

Respondiendo las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y público asistente.

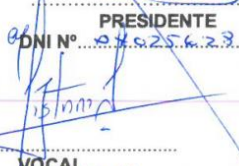
Concluido el acto de defensa, cada miembro del Jurado procedió a la evaluación del aspirante a Doctor, teniendo presente los criterios siguientes:

- Presentación personal.
- Exposición: el problema a resolver, hipótesis, objetivos, resultados, conclusiones, los aportes, contribución a la ciencia y solución a un problema social y recomendaciones.
- Grado de convicción y sustento bibliográfico utilizados para las respuestas a las interrogantes del Jurado y público asistente.
- Dicción y dominio de escenario.


Así mismo, el Jurado planteó a la tesis **las observaciones** siguientes:

Obteniendo en consecuencia el Doctorando la Nota de..... Diecisiete (17)
Equivalente a Muy Bueno, por lo que se declara Aprobado
(Aprobado o desaprobado)


Los miembros del Jurado firman la presente **ACTA** en señal de conformidad, en Huánuco, siendo las 21:18 horas del 29 de mayo de 2023.


PRESIDENTE
DNI N° 04525628


SECRETARIO
DNI N° 07559836


VOCAL
DNI N° 22439224


VOCAL
DNI N° 022422625


VOCAL
DNI N° 22432932

Leyenda:
19 a 20: Excelente
17 a 18: Muy Bueno
14 a 16: Bueno

(Resolución N° 01529-2023-UNHEVALEPG-D)



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN



ESCUELA DE POSGRADO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe:

Dr. Amancio Ricardo Rojas Cotrina

HACE CONSTAR:

Que, la tesis titulada: **“TENDENCIAS DE LA EVOLUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL MANTARO (1980-2020)”**, realizado por el Doctorando en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, **Eraclio Urbano HILARIO ADRIANO**, cuenta con un **índice de similitud del 16%**, verificable en el Reporte de Originalidad del software Turnitin. Luego del análisis se concluye que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio; por lo expuesto, la Tesis cumple con las normas para el uso de citas y referencias, además de no superar el 20,0% establecido en el Art. 233° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado Modificado de la UNHEVAL (Resolución Consejo Universitario N° 0720-2021-UNHEVAL, del 29.NOV.2021).

Cayhuayna, 04 de mayo de 2023.



Dr. Amancio Ricardo Rojas Cotrina
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE POSGRADO

NOMBRE DEL TRABAJO

TENDENCIAS DE LA EVOLUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL MANTARO (1980-2020)

AUTOR

ERACLIO URBANO HILARIO ADRIANO

RECuento DE PALABRAS

12378 Words

RECuento DE CARACTERES

62873 Characters

RECuento DE PÁGINAS

58 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.4MB

FECHA DE ENTREGA

May 4, 2023 12:09 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 4, 2023 12:10 PM GMT-5

● **16% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 16% Base de datos de Internet
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DIGITAL Y DECLARACIÓN JURADA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR UN GRADO ACADÉMICO O TÍTULO PROFESIONAL

1. Autorización de Publicación: (Marque con una "X")

Pregrado		Segunda Especialidad		Posgrado:	Maestría		Doctorado	X
----------	--	----------------------	--	-----------	----------	--	-----------	---

Pregrado (tal y como está registrado en SUNEDU)

Facultad	
Escuela Profesional	
Carrera Profesional	
Grado que otorga	
Título que otorga	

Segunda especialidad (tal y como está registrado en SUNEDU)

Facultad	
Nombre del programa	
Título que Otorga	

Posgrado (tal y como está registrado en SUNEDU)

Nombre del Programa de estudio	MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE
Grado que otorga	DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

2. Datos del Autor(es): (Ingrese todos los datos requeridos completos)

Apellidos y Nombres:	HILARIO ADRIANO ERACLIO URBANO							
Tipo de Documento:	DNI	X	Pasaporte	C.E.	Nro. de Celular:	972656596		
Nro. de Documento:	04063459				Correo Electrónico:	ehilarioa@undac.edu.pe		

Apellidos y Nombres:								
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte	C.E.	Nro. de Celular:			
Nro. de Documento:					Correo Electrónico:			

Apellidos y Nombres:								
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte	C.E.	Nro. de Celular:			
Nro. de Documento:					Correo Electrónico:			

3. Datos del Asesor: (Ingrese todos los datos requeridos completos según DNI, no es necesario indicar el Grado Académico del Asesor)

¿El Trabajo de Investigación cuenta con un Asesor?: (marque con una "X" en el recuadro del costado, según corresponda)								SI	X	NO
Apellidos y Nombres:	MALLMA CAPCHA TITO				ORCID ID:	0000-0001-7301-8891				
Tipo de Documento:	DNI	X	Pasaporte	C.E.	Nro. de documento:	20012015				

4. Datos del Jurado calificador: (Ingrese solamente los Apellidos y Nombres completos según DNI, no es necesario indicar el Grado Académico del Jurado)

Presidente:	ROJAS COTRINA AMANCIO RICARDO
Secretario:	MATOS RAMIREZ ANA MARIA
Vocal:	PASTRANA DIAZ NERIDA DEL CARMEN
Vocal:	RAMIREZ REYES GUADALUPE
Vocal:	RAMIREZ MONTALDO ROSALINDA
Accesitario	



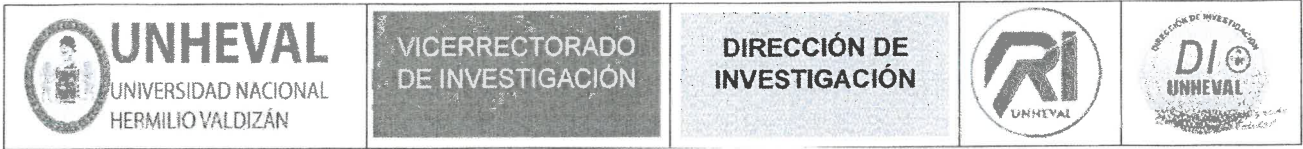
5. Declaración Jurada: (Ingrese todos los datos requeridos completos)

a) Soy Autor (a) (es) del Trabajo de Investigación Titulado: (Ingrese el título tal y como está registrado en el Acta de Sustentación)
TENDENCIAS DE LA EVOLUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL MANTARO (1980-2020)
b) El Trabajo de Investigación fue sustentado para optar el Grado Académico ó Título Profesional de: (tal y como está registrado en SUNEDU)
DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE
c) El Trabajo de investigación no contiene plagio (ninguna frase completa o párrafo del documento corresponde a otro autor sin haber sido citado previamente), ni total ni parcial, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias.
d) El trabajo de investigación presentado no atenta contra derechos de terceros.
e) El trabajo de investigación no ha sido publicado, ni presentado anteriormente para obtener algún Grado Académico o Título profesional.
f) Los datos presentados en los resultados (tablas, gráficos, textos) no han sido falsificados, ni presentados sin citar la fuente.
g) Los archivos digitales que entrego contienen la versión final del documento sustentado y aprobado por el jurado.
h) Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán (en adelante LA UNIVERSIDAD), cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de Investigación, así como por los derechos de la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y frente a terceros de cualquier daño que pudiera ocasionar a LA UNIVERSIDAD o a terceros, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar causas en la tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNIVERSIDAD en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del trabajo de investigación. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

6. Datos del Documento Digital a Publicar: (Ingrese todos los datos requeridos completos)

Ingrese solo el año en el que sustentó su Trabajo de Investigación: (Verifique la Información en el Acta de Sustentación)			2023		
Modalidad de obtención del Grado Académico o Título Profesional: (Marque con X según Ley Universitaria con la que inició sus estudios)	Tesis	X	Tesis Formato Artículo	Tesis Formato Patente de Invención	
	Trabajo de Investigación		Trabajo de Suficiencia Profesional	Tesis Formato Libro, revisado por Pares Externos	
	Trabajo Académico		Otros (especifique modalidad)		
Palabras Clave: (solo se requieren 3 palabras)	sequía		Temporal	espacial	
Tipo de Acceso: (Marque con X según corresponda)	Acceso Abierto	X	Condición Cerrada (*)		
	Con Periodo de Embargo (*)		Fecha de Fin de Embargo:		
¿El Trabajo de Investigación, fue realizado en el marco de una Agencia Patrocinadora? (ya sea por financiamientos de proyectos, esquema financiero, beca, subvención u otras; marcar con una "X" en el recuadro del costado según corresponda):				SI	NO X
Información de la Agencia Patrocinadora:					

El trabajo de investigación en digital y físico tienen los mismos registros del presente documento como son: Denominación del programa Académico, Denominación del Grado Académico o Título profesional, Nombres y Apellidos del autor, Asesor y Jurado calificador tal y como figura en el Documento de Identidad, Título completo del Trabajo de Investigación y Modalidad de Obtención del Grado Académico o Título Profesional según la Ley Universitaria con la que se inició los estudios.



7. Autorización de Publicación Digital:

A través de la presente. Autorizo de manera gratuita a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán a publicar la versión electrónica de este Trabajo de Investigación en su Biblioteca Virtual, Portal Web, Repositorio Institucional y Base de Datos académica, por plazo indefinido, consintiendo que con dicha autorización cualquier tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente. Se autoriza cambiar el contenido de forma, más no de fondo, para propósitos de estandarización de formatos, como también establecer los metadatos correspondientes.

Firma:			
Apellidos y Nombres:	HILARIO ADRIANO ERACLIO URBANO		Huella Digital
DNI:	04063459		
Firma:			
Apellidos y Nombres:			Huella Digital
DNI:			
Firma:			
Apellidos y Nombres:			Huella Digital
DNI:			
Fecha: 18/02/24			

Nota:

- ✓ No modificar los textos preestablecidos, conservar la estructura del documento.
- ✓ Marque con una X en el recuadro que corresponde.
- ✓ Llenar este formato de forma digital, con tipo de letra **calibri**, **tamaño de fuente 09**, manteniendo la alineación del texto que observa en el modelo, sin errores gramaticales (*recuerde las mayúsculas también se tildan si corresponde*).
- ✓ La información que escriba en este formato debe coincidir con la información registrada en los demás archivos y/o formatos que presente, tales como: DNI, Acta de Sustentación, Trabajo de Investigación (PDF) y Declaración Jurada.
- ✓ Cada uno de los datos requeridos en este formato, es de carácter obligatorio según corresponda.

