

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Tendencia de la precipitación y
temperatura debido al cambio climático
observados en dos estaciones
meteorológicas de la región de Arequipa
1965-2020**

Angie Briceyda Tapia Ramos

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR:

Elizabeth Guisella Machuca Manrique

AGRADECIMIENTO

El proceso de mi investigación ha sido largo, pero de mucho aprendizaje, que no hubiese sido posible sin las facilidades que brindan las instituciones competentes y profesionales, a quienes quiero brindarles mi agradecimiento. Iniciando con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, ya que a su portal web, fue posible obtener los datos de precipitación y temperatura, así mismo a la Universidad Continental por permitirme y darme la facilidad de presentar la tesis en su institución, mediante la convalidación.

Quiero agradecer a quien en mi vida fue mi asesor, el ingeniero Jacinto Venancio Arroyo Aliaga, por su apoyo incondicional en todo el proceso de mi proyecto de investigación, siempre brindándome los mejores consejos y sugerencias, corrigiéndome cuando fue necesario, me dio la oportunidad de aprender de sus conocimientos y mostrarme que todo lo que se realiza con esfuerzo se puede hacer posible, siempre me motivo a luchar por mi objetivo. También agradecer profundamente al biólogo Guillermo Gutiérrez, por brindarme las facilidades en las visitas de las estaciones meteorológicas.

Agradezco a la señora Ley Concha, encargada de la recolección de datos de la estación Pampa Blanca de SENAMHI, por su apoyo y orientación en la visita técnica.

DEDICATORIA

Mi proyecto de investigación se lo dedico especialmente a mis padres Jesús y Jehnny, por todos los esfuerzos realizados para que yo culmine mis estudios profesionales, siempre me enseñaron a no rendirme y a seguir adelante para lograr mis objetivos y metas, agradezco el apoyo infinito y su amor incondicional; a mis hermanos, Jhosep y Rodrigo, por su fuerte motivación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
PORTADA.....	i
ASESOR:.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I.....	17
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	17
1.1. Planteamiento y formulación del problema	17
1.1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.1.2. Formulación del problema.....	23
1.1.2.1. Problema general.....	23
1.1.2.2. Problemas específicos	23
1.2. Objetivos.....	23
1.2.1. Objetivo general.....	23
1.2.2. Objetivos específicos.....	24
1.3. Justificación e importancia.....	24
1.3.1. Justificación académica	24
1.3.2. Justificación ambiental.....	25
1.3.3. Justificación social.....	25
1.4. Hipótesis de la investigación	25
1.4.1. Hipótesis general.....	25

1.4.2. Hipótesis específicas	25
1.5. Variables y operacionalización	26
CAPÍTULO II	28
MARCO TEÓRICO	28
2.1. Antecedentes de la investigación.....	28
2.2. Bases teóricas.....	32
2.2.1. Fundamento teórico	32
2.2.1.1. Climatología.....	32
2.2.1.2. Variabilidad del clima	32
2.2.1.3. El sistema climático	32
2.2.1.4. Cambio climático	33
2.2.1.5. Consecuencias del cambio climático en el Perú.....	34
2.2.1.6. Cambio climático abrupto	35
2.2.1.7. Cambio climático asegurado	35
2.2.1.8. Sensibilidad Climática	35
2.2.1.9. Usos de la información e investigación climatológicas	36
2.2.1.10. Efecto invernadero.....	36
2.2.1.11. Gas de efecto invernadero (GEI).....	36
2.2.1.12. Factores determinantes del clima	37
2.2.1.13. Elementos característicos del clima	37
2.2.1.14. El clima en el Perú	37
2.2.1.15. Temperatura del aire.....	37
2.2.1.16. Variación de la temperatura del aire.....	38
2.2.1.17. Medición de la temperatura del aire	38
2.2.1.18. La precipitación.....	38
2.2.1.19. Medición de la precipitación	39
2.2.1.20. Análisis de tendencias	40
2.2.1.21. Método para determinar la tendencia de la precipitación	40
2.2.1.22. Test paramétricos	41
2.2.1.23. Test para tendencia – Regresión Lineal.....	41
2.2.1.24. Test no paramétricos	42
2.2.1.25. Mann – Kendall (test para tendencia).....	42
2.2.1.26. Series de Fourier	43

2.2.1.27. Obtención de la Serie Fourier	43
2.2.1.28. Análisis de series de tiempo	44
2.2.1.29. Métodos para series de tiempo.....	44
2.2.1.30. Metodologías para el análisis de series de tiempo hidroclimatológicas.....	45
2.2.1.31. Métodos para determinar variabilidad climática interanual .	48
2.2.2. Metodologías existentes	48
2.2.2.1. Superficie, observaciones satelitales, estaciones - OMM	48
2.2.2.2. Emplazamiento de las estaciones Climatológicas - OMM	51
2.2.2.3. Análisis de datos hidrológicos y meteorológicos SENAMHI	53
2.2.2.4. Protocolo para la instalación y operación de estaciones meteorológicas – SENAMHI.....	53
2.2.3. Diseño de modelo teórico conceptual	56
2.3. Definición de términos básicos	56
CAPÍTULO III	64
METODOLOGÍA	64
3.1 Método y alcance de la investigación	64
3.1.1 Método de investigación.....	64
3.1.1.1 Método general o teórico de investigación.....	64
3.1.1.2 Método específico de la investigación	65
3.1.2 Alcances de la investigación.....	68
3.1.2.1 Tipo de investigación.....	68
3.1.2.2 Nivel de investigación.....	68
3.2 Diseño de la Investigación	69
3.3 Población y muestra	69
3.3.1 Población	69
3.3.2 Muestra.....	69
3.3.2.1 Estación Meteorológica – La Pampilla	69
3.3.2.2 Estación Meteorológica – La Pampilla	70
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	71
3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos	71

3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos	72
3.4.2.1 Temperatura	72
3.4.2.2 Precipitación	73
CAPÍTULO IV	77
RESULTADOS Y DISCUSIONES	77
4.1 Resultados de la investigación	77
4.1.1 Resultado que explica el objetivo general	77
4.1.2 Pruebas de hipótesis	79
4.1.3 Resultado para lograr explicar el objetivo específico 1	87
4.1.4 Resultado para lograr explicar el objetivo específico 2	89
4.1.5 Resultado para lograr explicar el objetivo específico 3	91
4.2 Análisis de resultados	92
CONCLUSIONES	97
RECOMENDACIONES	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
ANEXOS	102

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables	27
Tabla 2. Datos de la Estación Meteorológica – La Pampilla	65
Tabla 3. Datos de la Estación Meteorológica – Pampa Blanca.....	66
Tabla 4. Características de instrumentos meteorológicos.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Singularidades que se observaron, desde 1850 hasta 2012, en el promedio mundial de temperaturas en superficie, terrestres y oceánicas combinadas.	17
Figura 2. Cambios visualizados entre 1901 – 2012, de temperatura en la superficie.	18
Figura 3. Cambio registrado en la precipitación anual sobre la tierra.	18
Figura 4. Variación de nivel medio global del mar.	19
Figura 5. Diferentes indicadores en un ciclo del carbono mundial cambiante	20
Figura 6. Variación observada de la temperatura global y respuestas de los modelos a las trayectorias estilizadas de las emisiones antropógenas y del forzamiento.	21
Figura 7. Se puede observar el hielo de las cumbres de la Cordillera Blanca - Perú (722 glaciares), la más extensa cadena de nevados tropicales del planeta Tierra se está derritiendo por los cambios climáticos.	22
Figura 8. Escenarios climáticos futuros para la región Arequipa	23
Figura 9. Ubicación Estación Meteorológica – La Pampilla	70
Figura 10. Ubicación Estación Meteorológica – Pampa Blanca	71
Figura 11. Instrumentos para la medición de datos en las estaciones meteorológicas.	72
Figura 12. Distribución de la temperatura media de la estación meteorológica La Pampilla – Arequipa, periodo 1965 – 2021.	77
Figura 13. Descomposición de la serie de tiempo de la temperatura media de la estación meteorológica La Pampilla de Arequipa 1965 – 2021.	78
Figura 14. Suavización de la tendencia de la temperatura media mensual en la estación meteorológica La Pampilla de Arequipa 1965 – 2021	78
Figura 15. Tendencia de la temperatura media mensual de la estación meteorológica La Pampilla de la región de Arequipa, periodo 1965 – 2021.	79
Figura 16. Distribución de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica La Pampilla – Arequipa, periodo 1965 – 2021.	80
Figura 17. Descomposición de la serie de tiempo de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica La Pampilla de Arequipa 1965 – 2021.	80
Figura 18. Suavización de la Tendencia de la precipitación acumulada de la estación meteorológica La Pampilla de Arequipa 1965 – 2021.	81

Figura 19. Tendencia de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica La Pampilla de la región de Arequipa, periodo 1965 – 2021	82
Figura 20. Distribución de la temperatura media mensual de la estación meteorológica Pampa Blanca de la región Arequipa, periodo 1965 – 2021.....	82
Figura 21. Descomposición de la serie de tiempo de la temperatura media de la estación meteorológica Pampa Blanca de la región Arequipa, periodo 1965 – 2021.....	83
Figura 22. Suavización de la Tendencia de la temperatura media mensual de la estación meteorológica de Pampa Blanca de Arequipa, periodo 1965 – 2021	83
Figura 23. Tendencia de la Temperatura Media mensual de la estación meteorológica Pampa Blanca de la región de Arequipa, periodo 1965 – 2021	84
Figura 24. Distribución de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica Pampa Blanca – Arequipa, periodo 1965 – 2021.	85
Figura 25. Descomposición de la serie de tiempo de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica Pampa Blanca de Arequipa 1965 – 2021.	85
Figura 26. Suavización de la Tendencia de la precipitación acumulada mensual en la estación meteorológica de Pampa Blanca de Arequipa, periodo 1965 – 2021. ..	86
Figura 27. Tendencia de la serie de tiempo de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica Pampa Blanca de la región Arequipa, periodo 1965 - 2021.....	87
Figura 28. Distribución de la temperatura máxima mensual de la estación meteorológica La Pampilla de la región Arequipa, periodo 1965 – 2021.	87
Figura 29. Caja de bigotes de la Temperatura máxima mensual de la estación meteorológica de La Pampilla de Arequipa 1965 – 2021.....	88
Figura 30. Distribución de la temperatura máxima mensual de la estación meteorológica Pampa Blanca de la región Arequipa, periodo 1965 – 2021.....	88
Figura 31. Caja de bigotes de la Temperatura máxima de la estación meteorológica de Pampa Blanca de Arequipa 1965 – 2021.	89
Figura 32. Distribución de la temperatura mínima mensual de la estación meteorológica La Pampilla de la región Arequipa, periodo 1965 – 2021.	89
Figura 33. Caja de bigotes de la temperatura mínima mensual de la estación meteorológica La Pampilla de la región Arequipa, periodo 1965 – 2021.	90
Figura 34. Distribución de la temperatura mínima mensual de la estación meteorológica Pampa Blanca de la región Arequipa, periodo 1965 – 2021.....	90
Figura 35. Caja de bigotes de la temperatura mínima de la estación meteorológica de Pampa Blanca de Arequipa 1965 – 2021.	91

Figura 36. Caja de bigotes de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica de La Pampilla de Arequipa 1965 – 2021.....	91
Figura 37. Caja de bigotes de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica de Pampa Blanca de Arequipa 1965 – 2021.	92

RESUMEN

La tesis de investigación fue realizada en la región de Arequipa considerando dos estaciones climatológicas. El objetivo principal fue determinar la tendencia de la precipitación acumulada mensual y temperatura media mensual en dos estaciones climáticas de la región Arequipa en el entorno de la variación del clima durante el periodo 1965 - 2021. Mediante un estudio de método hipotético-deductivo y analítico, tipo descriptivo y diseño no experimental, se pudo analizar datos de 55 años, de las variables requeridas como lo son la temperatura máxima, mínima y precipitación. Los datos diarios se recopilaron de dos estaciones climáticas, la primera denominada Estación Meteorológica Agrícola Principal La Pampilla situada en la provincia de Arequipa, distrito de Arequipa, la segunda denominada Pampa Blanca situada en la provincia de Islay, distrito de Cocachacra, las cuales forman el conjunto de redes de estaciones climatológicas del SENAMHI. Se utilizó la metodología de series de tiempo y se obtuvo como resultados que la temperatura media mensual para ambas estaciones meteorológicas muestra tendencia lineal ascendente. Así mismo existe tendencia ascendente para la precipitación mensual acumulada para la estación La Pampilla, pero para la estación Pampa Blanca la tendencia es descendente para la precipitación mensual acumulada.

Palabras claves: *Cambio climático, tendencia de la temperatura y precipitación.*

ABSTRACT

This research was carried out in the Arequipa region considering two weather stations. The main objective was to determine the trend of monthly accumulated precipitation and monthly mean temperature in two climatic stations of the Arequipa region in the context of climate change during the period 1965 - 2021. By means of a hypothetical-deductive and analytical method study, descriptive type and non-experimental design, where a series of 56 years of data of maximum temperatures, minimum temperatures and precipitation was analyzed. The daily data were collected from two weather stations, the first named La Pampilla Main Agricultural Meteorological Station located in the Arequipa province, Arequipa district, the second named Pampa Blanca located in the Islay province, Cocachacra district, which are part of the SENAMHI network of meteorological stations. The time series methodology was used and the results were obtained that the monthly mean temperature for both meteorological stations shows an upward linear trend. Likewise, there is an upward trend for the accumulated monthly precipitation for the La Pampilla station, but for the Pampa Blanca station the trend is downward for the accumulated monthly precipitation.

Keywords: Climate change, temperature trend and precipitation.

INTRODUCCIÓN

La variación del clima es un problema que compete y afecta a todos los que habitamos en la Tierra, se ha evidenciado durante los últimos años una alteración en la atmósfera terrestre, debido al uso de combustibles fósiles lo que trae por consecuencia la elevación de los niveles de gases de efecto invernadero (GEI), los cuales vienen afectando a su vez el cambio del clima en todo el mundo. El Grupo Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) en su quinto informe nos señala, incremento sustancial en la temperatura media mundial en 0.85 °C entre las fechas de 1880 a 2012 debido al incremento de los GEI. Frente a esta problemática mundial se consideró importante determinar las tendencias o cambios en el clima utilizando herramientas estadísticas como las series de tiempo de los parámetros de temperatura y precipitación en la Región Arequipa. Las estaciones meteorológicas elegidas cuentan con registros diarios y completos desde 1965 de las variables evaluados lo cual constituyo un factor determinante.

La presente investigación cuenta con cuatro capítulos. El Capítulo I hace una investigación exhaustiva de la problemática mundial del clima y los efectos en las diferentes actividades económicas a nivel nacional y específicamente en la región Arequipa. Así mismo se determina los objetivos, la justificación de la investigación, las variables y su operacionalización.

El Capítulo II muestra la investigación documentaria que se realizó sobre los antecedentes internacionales, nacionales, así como también de la región Arequipa; se encontraron tesis, informes de evaluación y artículos académicos, los cuales contribuyeron a la investigación a través de la metodología utilizada, técnicas estadísticas como las series de tiempo, las técnicas de investigación, instrumentos y la definición de términos básicos. Además, se examinó las bases teóricas que sustentan el estudio realizado.

La metodología se detalló en el Capítulo III, así como también los alcances del estudio, el diseño de la investigación, la población y la muestra, teniendo como muestra dos estaciones meteorológicas, la primera Estación La Pampilla situada en la provincia de Arequipa, distrito de Arequipa, con coordenadas: Lat. 16°24'49.83", Long. 71°32'4.74" y Alt. 2,324.2 msnm; la segunda estación Pampa Blanca ubicada en la provincia de Islay, distrito de Cocachacra, cuyas coordenadas son; Lat. 17° 4' 17.79", Long. 71° 43' 28.29" y Alt. 108 msnm, ambas ubicadas en el departamento de Arequipa, las cuales cuentan con los registros históricos.

Capítulo IV brinda los resultados obtenidos gracias a una evaluación profunda de la data que se obtuvo de la temperatura máxima, temperatura mínima y las precipitaciones entre los años 1965 al 2020, se presentan gráficos de series de tiempo, caja de bigotes,

obteniendo como resultados más importantes que la temperatura media está incrementando en ambas estaciones meteorológicas, sin embargo, la precipitación acumulada mensual en la estación La Pampilla ha aumentado, pero va disminuyendo en la estación Pampa Blanca.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Conforme a lo reportado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), los efectos del cambio climático nos afectan a todos. El quinto informe del IPCC (Grupo de Expertos del Cambio Climático), nos señala que la temperatura media mundial se elevó en 0,85 °C entre los años 1880 a 2012. Por otro lado, desde 1850 cada década está siendo más cálida en la tierra que las décadas anteriores (figura 1). Además, los últimos 1400 años, es probable que entre los años 1983 – 2012 haya sido el más cálido en el hemisferio norte (1 pág. 5).

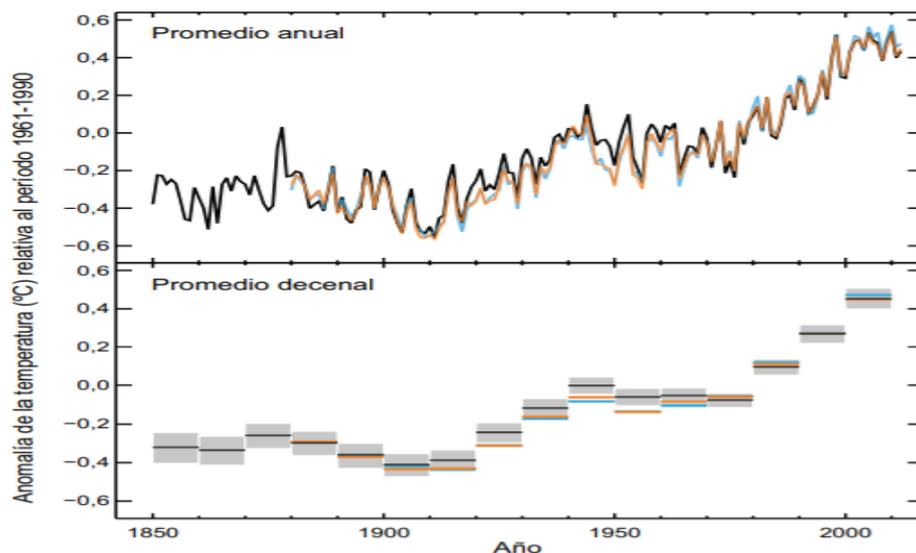


Figura 1. Singularidades que se observaron, desde 1850 hasta 2012, en las temperaturas promedio tanto superficiales, terrestres y oceánicas en conjunto, a nivel mundial.

Fuente: (1).

Considerando el periodo de tiempo más largo de 1901 a 2012, el cual cuenta con cálculos de las tendencias regionales completos, se puede observar que casi todo el planeta Tierra ha sufrido un incremento de la temperatura (figura 2).

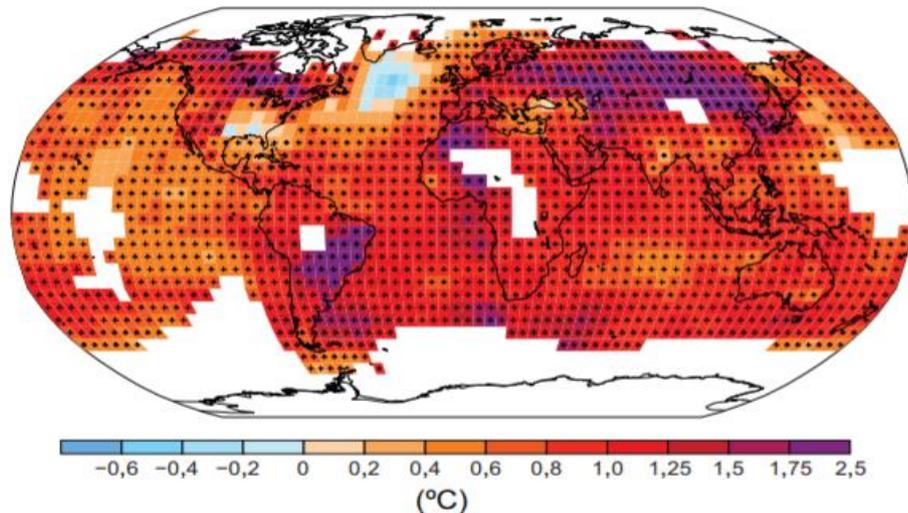


Figura 2. Cambios visualizados entre 1901 – 2012, de temperatura en la superficie. Fuente: (1).

Los cambios en las precipitaciones, de acuerdo al uso del método de reconstrucción; se obtuvieron como resultados mínimos cambios en la precipitación desde el año 1901, todo ello basado en las series cronológicas. También se muestra, con certeza moderada antes de 1951 y certeza alta pasando el año 1951, un posible aumento general de la precipitación en las zonas continentales de latitud media del hemisferio norte. En otras latitudes, se puede observar un nivel de certeza bajo en cuanto las predisposiciones positivas o negativas, a un tiempo prolongado, por diferentes áreas (figura 3) (1).

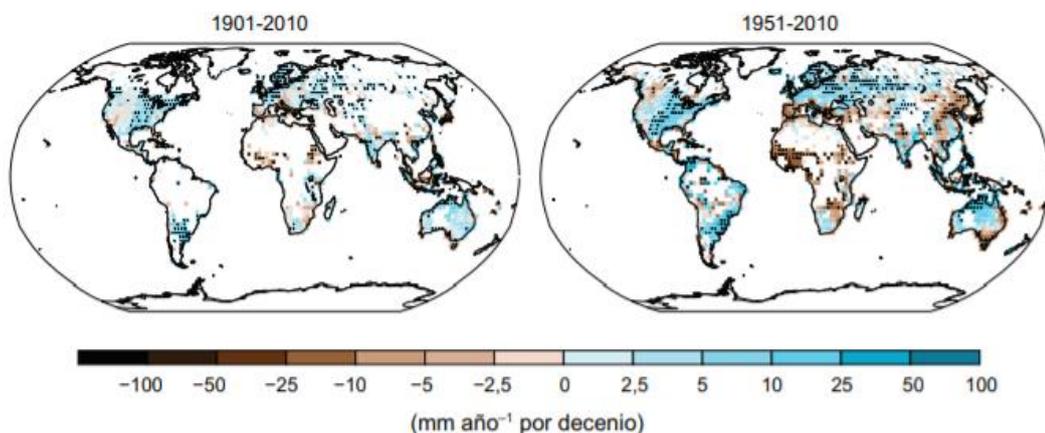


Figura 3. Cambio registrado en la precipitación anual sobre la tierra. Fuente: (1).

Referente al nivel del mar, este ha ido ascendiendo con respecto a los dos mil años anteriores, todo ello a partir de mediados del siglo XIX. Los datos indirectos e instrumentales nos indican que durante los años de 1901 a 2010, el incremento del nivel del mar fue de 0.19 m (figura 4). Mientras que, el nivel medio global del océano se elevó casi en un 75 %, debido a la pérdida de los glaciares, la dilatación térmica del océano ocasionadas por el aumento de temperatura, todo ello desde inicios de los años 1970.

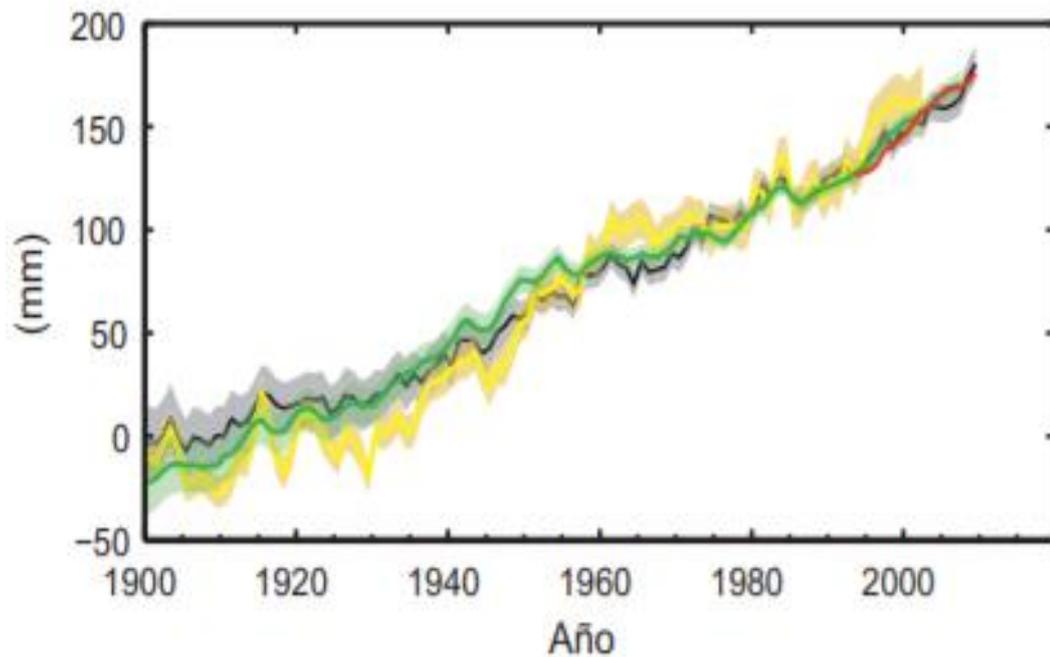


Figura 4. Variación de nivel medio global del mar
Fuente: (1).

Realizando la suma de lo observado en la expansión térmica del mar por la elevación de la temperatura, el cambio en los glaciares, la capa de hielo que cubre Groenlandia, el hielo que cubre la Antártida y a acumulación de agua en la Tierra, dan un total de 2.8 mm/año (1 pág. 11).

Otro punto importante que influye en el cambio climático es el ciclo del carbono, debido a las emisiones a raíz de la combustión del petróleo, carbón y gas, así como también los cambios drásticos que se le da al uso del suelo; todo lo mencionado con anterioridad se viene generando desde los tiempos preindustriales trayendo como consecuencia el incremento de un 40 % en la acumulación de dióxido de carbono. Los océanos se han acidificado debido a la absorción de aproximadamente el 30 % del dióxido de carbono antropogénico (figura 5). La acidificación del mar se puede cuantificar por la reducción del pH. En el agua del mar superficial el pH se ha reducido en 0,1 desde inicios de la era industrial, esto indica un incremento del 26 % en la acumulación de iones de hidrógeno (1 pág. 12).

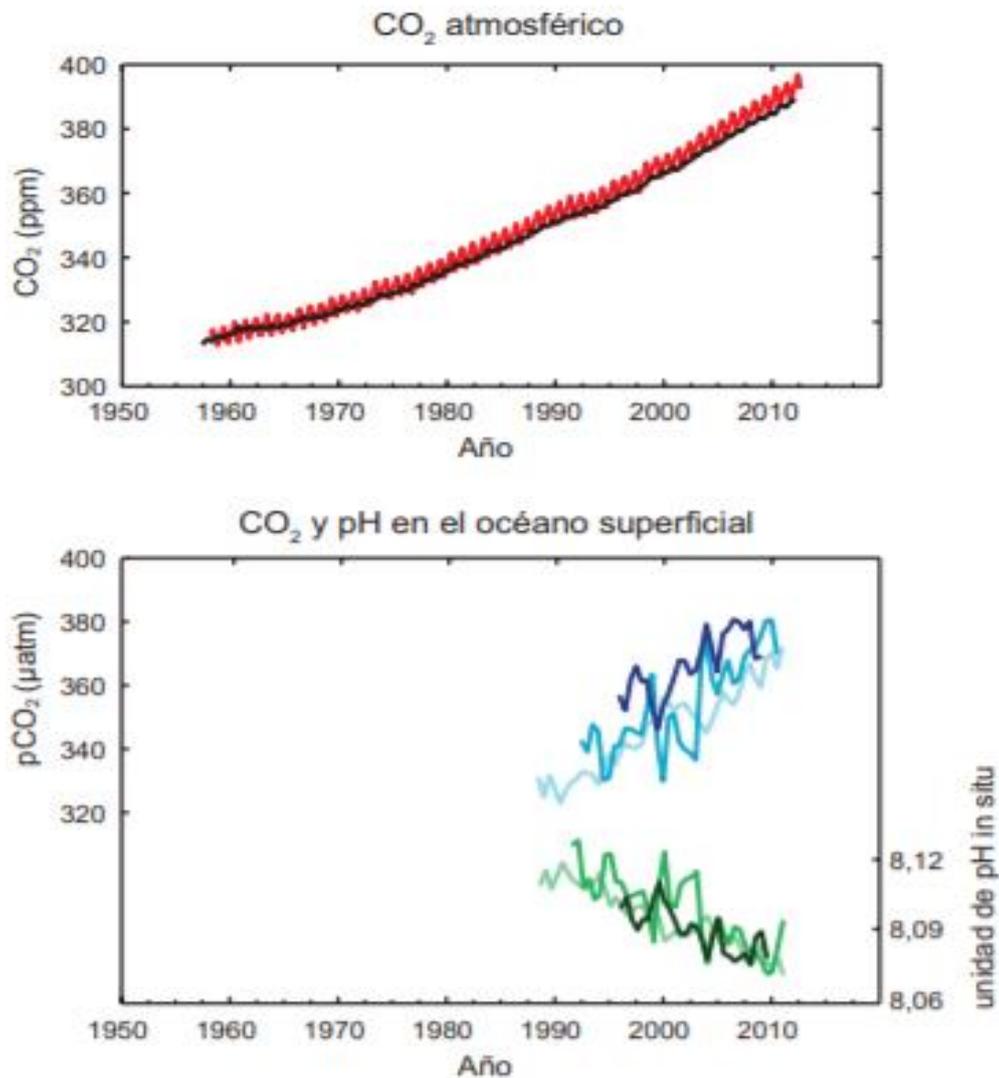


Figura 5. Diferentes indicadores en un ciclo del carbono

Fuente: (1).

El IPCC en el año 2018 realizó la publicación de un informe especial donde daba a conocer el aumento de la temperatura en 1,5°C a nivel global y los efectos del mismo. Este informe nos indica que hay la probabilidad de que el calentamiento de la Tierra, llegue a 1.5°C, entre el 2030 y 2052, en caso siga ascendiendo como hasta la actualidad (figura 6). El informe también nos señala que es improbable que las emisiones antropógenas que se emiten desde el periodo preindustrial las cuales durarán de siglos a milenios, provoquen por sí solas el calentamiento global de 1.5°C, lo que si ocasionará serán nuevos cambios en el planeta tierra, como, por ejemplo, el incremento del nivel de agua de los océanos y lo que conlleve ello (2 págs. 6-7).

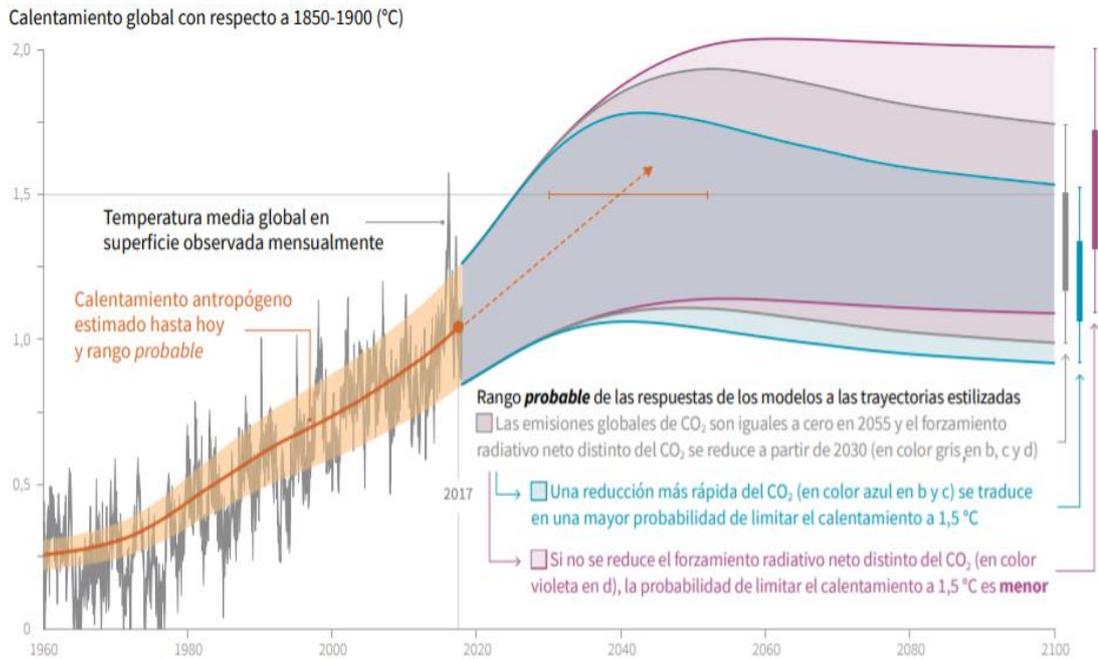


Figura 6. Variación observada a nivel mundial, de la temperatura y resultados de los modelos a las trayectorias estilizadas de las emisiones antropógenas.

Fuente: (2).

Según los estudios proyectados de los modelos, para que el aumento de temperatura no sobrepase el 1.5 °C, las emisiones de CO₂ deberán descender en un 45 % hasta el 2030 de acuerdo a los valores del 2010, las emisiones deberán seguir bajando hasta el año 2050 aproximadamente para poder llegar al cero que se espera (2 pág. 14).

Según Tyndall Center de Inglaterra, después de los países de Bangladesh y Honduras, Perú estaría en tercer lugar de los países con mayor vulnerabilidad a un cambio del clima. Al tener presente en nuestro país el Fenómeno de El Niño, estamos más expuestos a las consecuencias que conlleva este fenómeno hidrometeorológico. En el Perú, entre 1997 y 2006, las lluvias torrenciales, las sequías, inundaciones, heladas, granizadas y otros fenómenos se multiplicaron por más de seis, así como también los eventos de El Niño fueron más frecuentes e intensos (3).

Por otro lado, se tiene como pronóstico para el país la disminución del 22 % de los glaciares en treinta años, estos glaciares son el 71 % de los glaciares tropicales del mundo (figura 7).

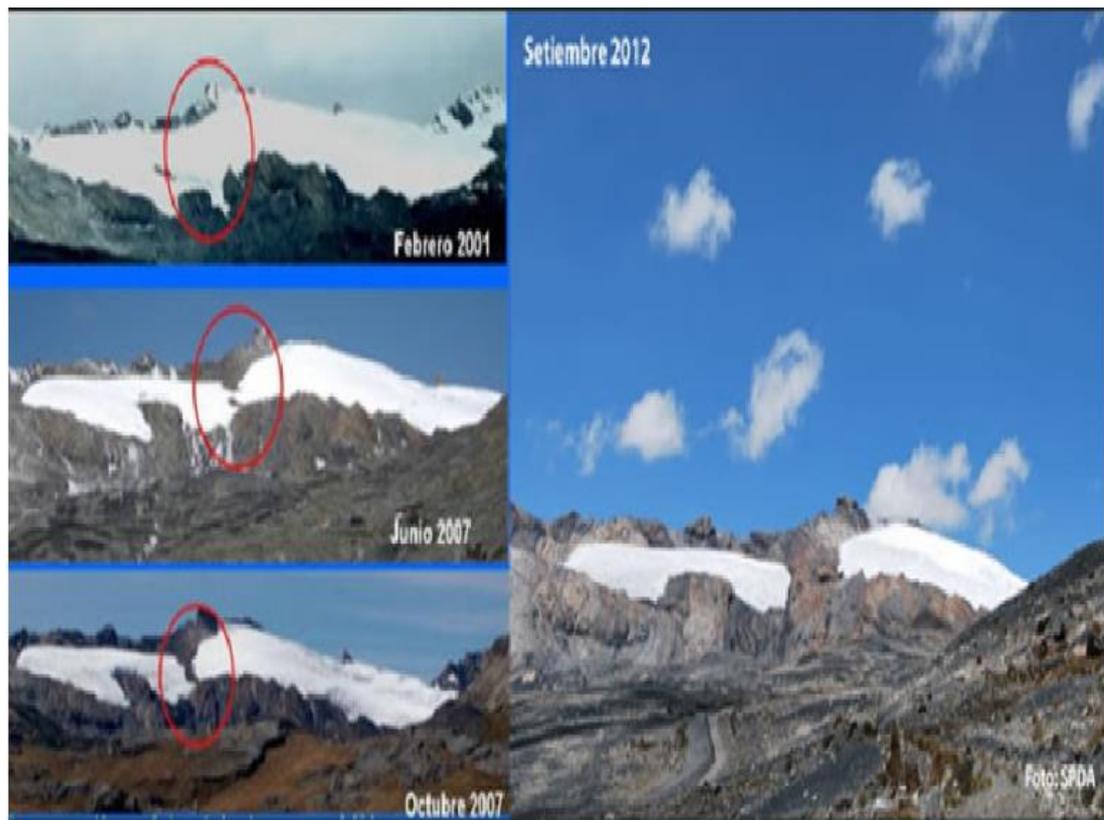


Figura 7. Se puede observar el nevado en las cumbres de la Cordillera Blanca - Perú (722 glaciares), la más extensa cadena de nevados tropicales del planeta Tierra se está derritiendo por los cambios climáticos.

Fuente: (3).

En la región Arequipa, son visibles las consecuencias del cambio del clima, sobre todo, en el retroceso de los glaciares. También se puede observar las anomalías en la temperatura y lluvias.

Según los modelos de cambio climático se muestra escenarios futuros para el clima, donde se observan anomalías en las lluvias de Arequipa, con referencia a los mm/día, entre diciembre y febrero para los años de 2011 al 2040 y 2041 al 2070, en comparación a los años de 1961 al 1990. Este sería un evento negativo de altas emisiones de gases de efecto invernadero del IPCC, con la aplicación del modelo global del Goddard Institute for Space Studies (figura 8).

El cambio climático también se puede manifestar en los cultivos y ganado cuando se da la aparición de nuevas enfermedades y plagas (4).

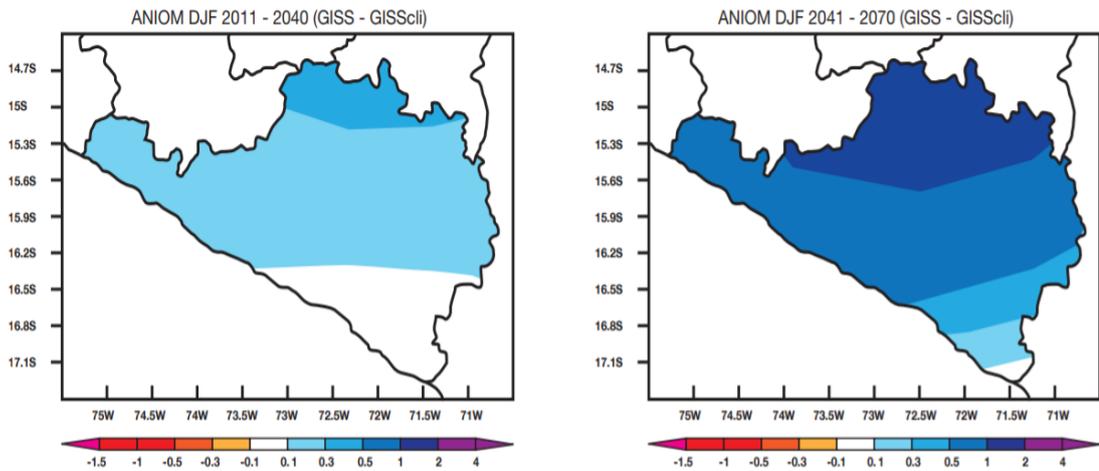


Figura 8. Escenarios climáticos futuros para la región Arequipa

Fuente: (4).

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cuál es la tendencia de la precipitación y temperatura debido al cambio climático observadas en dos estaciones climáticas de la región Arequipa 1965-2020?

1.1.2.2. Problemas específicos

PE1: ¿Qué características presenta la temperatura máxima debido al cambio climático en dos estaciones climáticas de la región Arequipa en el periodo 1965 - 2020?

PE2: ¿Qué características presenta la temperatura mínima debido al cambio climático en dos estaciones climáticas de la región Arequipa en el periodo 1965 - 2020?

PE3: ¿Qué características presenta la precipitación debido al cambio climático en dos estaciones climáticas de la región Arequipa en el periodo 1965 - 2020?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la tendencia de la precipitación acumulada mensual y temperatura media mensual en dos estaciones climáticas de la región Arequipa en el contexto del cambio climático durante el periodo 1965 - 2020.

1.2.2. Objetivos específicos

OE1: Caracterizar el comportamiento de la temperatura máxima mensual en dos estaciones climáticas de la región Arequipa durante el periodo 1965 - 2020.

OE2: Caracterizar el comportamiento de la temperatura mínima mensual en dos estaciones climáticas de la región Arequipa durante el periodo 1965 - 2020.

OE3: Caracterizar el comportamiento de la precipitación acumulada mensual en dos estaciones climáticas de la región Arequipa en el periodo 1965 - 2020.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación académica

Según el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático), entre los años 1995 y 2006 parece haber sido uno de los más cálidos registrados hasta ahora desde 1850. Los cambios de la temperatura del océano, variaciones en los ecosistemas, la disminución de las estaciones frías, el deshielo de los glaciares, el ascenso de los niveles de agua en los océanos, son variables relevantes que indican claramente que el planeta se está calentando. Para lograr limitar o disminuir el cambio climático es necesario un gran cambio a nivel internacional, actualmente contamos con el Convenio de Naciones Unidas para el Cambio Climático, en el cual participan 189 países, sin embargo, es necesario e importante realizar acciones positivas a nivel nacional. Desde el año 1990 se ha tenido un progreso para la disminución de los GEI, en este periodo se ha demostrado la necesidad de utilizar permisos de emisiones, políticas de regulación y un incremento en la investigación destinados a la mitigación (5).

De acuerdo a la ONU, mediante la agencia meteorológica y sus nuevos datos obtenidos, envían una alerta de que existe la posibilidad en un 40 % de que a nivel global se incremente temporalmente la temperatura a 1.5 °C durante estos 5 años. Lo cual ocasionará más deshielo, el aumento del nivel de agua de los océanos junto con más olas de calor y cambios excesivos en los fenómenos meteorológicos el cual tendrá grandes repercusiones en el abastecimiento de alimentos (6).

En el boletín sobre el Clima Mundial Anual a Decenal, nos indican que entre los años 2021 al 2025 se puede observar el año con mayor temperatura de la historia, la probabilidad es de un 90 %, hasta la fecha 2016 ha sido el año más caliente (6). Los resultados de la investigación servirán a los académicos enriqueciendo los conocimientos para el lugar de estudio.

1.3.2. Justificación ambiental

Nuestro país, Perú, es uno con mayores efectos negativos, a causa de los cambios de temperatura y precipitación, el hecho de que los eventos de “El Niño” (FEN) sean cada vez con mayor fuerza y frecuencia. Así mismo el Perú tiene en sus territorios una gran riqueza ecológica y una mega diversidad climática, ya que cuenta con 27 de los 32 climas del mundo; por lo tanto, si el medio ambiente del Perú sufre cualquier daño perjudicaría el equilibrio ecológico del planeta.

1.3.3. Justificación social

Los cambios que se dan en el clima, más que afectar directamente al medio ambiente, perjudica el bienestar de la población en su salud, también en su economía y otros aspectos. Los sectores propensos a los cambios climáticos son la salud, la agricultura y la pesca.

Los fenómenos hidrometeorológicos en el Perú que se están produciendo con más frecuencia y magnitud evidencian que el cambio del clima no es un fenómeno sin importancia, ya que este trae consecuencias en la economía y por lo tanto en el tipo de vida de cada uno de sus habitantes.

Un asunto muy importante a resaltar es el agua (recurso hídrico), puesto que Perú cuenta con una situación particular, ya que su población en mayor parte habita en la costa y sierra, lugares donde el agua es escasa. Es por ello que se debe enfatizar en el uso adecuado y distribución eficiente del agua, de igual manera la conservación de las fuentes de este recurso vital.

1.4. Hipótesis de la investigación

1.4.1. Hipótesis general

El efecto del cambio climático en la precipitación es en forma inversa con relación a la temperatura observados en las dos estaciones climáticas de la región Arequipa 1965-2020.

1.4.2. Hipótesis específicas

HE1: El efecto del cambio climático en la precipitación es en forma inversa con relación a la temperatura máxima observados en las dos estaciones climáticas de la región Arequipa 1965-2020.

HE2: El efecto del cambio climático en la precipitación es en forma inversa con relación a la temperatura mínima observados en las dos estaciones climáticas de la región Arequipa 1965-2020.

HE3: El efecto del cambio climático en la precipitación es en forma inversa con relación a la temperatura media observados en las dos estaciones climáticas de la región Arequipa 1965-2020.

1.5. Variables y operacionalización

Variable 1

Precipitación

Dimensiones:

- Precipitación mensual acumulada

Variable 2

Temperatura

Dimensiones:

- Temperatura Máxima
- Temperatura Mínima
- Temperatura Media

Variable 3

Tiempo cronológico

Dimensiones

- Años

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Variable 1 Precipitación	Cantidad de agua en sus distintas formas que cae de la atmosfera sobre la superficie terrestre, Esta precipitación que cae en un lugar determinado no siempre será igual de un año a otro, esta puede variar por encima o debajo de lo normal.	Precipitación mensual acumulada	(mm)	Estación Climática (SENAHMI)
Variable 2 Temperatura	La temperatura del planeta es controlada por el balance entre la cantidad de energía solar que entra al planeta versus cuánta de esa energía se pierde al ser reflejada (re-irradiada) por la Tierra al espacio.	Temperatura Máxima Temperatura Mínima Temperatura Media	(°C)	Estación Climática (SENAHMI)
Variable 3 Tiempo cronológico	Los hechos, eventos, sucesos naturales e históricos; tienen una manifestación temporal que se expresa en una cronología	Año		Planilla climatológica (SENAMHI)

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

El artículo titulado “Cambio Climático Mundial: Origen y consecuencias”, cuyo objetivo es estudiar las consecuencias que conlleva la acumulación en la atmósfera de los gases de efecto invernadero, como principal componente estudiaron el CO₂, ya que este se puede relacionar directa o indirectamente con las actividades que realiza el hombre ya sea en el uso de combustibles fósiles, así como también cuando practican la deforestación. Los estudios realizados nos señalan que la Biosfera ya se está viendo afectada a causa de los cambios climáticos, debido a las alteraciones por consecuencia de las actividades del hombre y como estos afectan la vida en la Tierra, los problemas ambientales del planeta deberían ser de conocimiento de todos los que habitamos en ella no solo de los científicos y técnicos especialistas. Con este artículo se tiene el objetivo de brindar concisamente la información de un problema mundial grave (7).

El artículo denominado “El Cambio Climático y Sus Efectos en el Perú”, este estudio analiza varios textos literarios donde hay evidencia sobre la realidad que vivimos sobre el cambio climático y si no adoptamos una política ambiental internacional estricta sobre este tema, lo más probable es que nos encontremos con escenarios extremos de incremento de temperatura de más de 5 °C para finales del siglo, lo cual involucraría pérdidas en el PBI a nivel mundial de hasta un 20 %. Dentro de las regiones más afectadas se encuentra América Latina, debido a un incremento de la temperatura y anomalías en las lluvias que se puedan dar en Perú, para el año 2050, ocasionando una baja del PBI de hasta un 6 % para el año 2030, se podría reducir estos daños a menos de la tercera parte en caso se tome conciencia adoptando las medidas necesarias a nivel mundial para que las variables del clima se puedan estabilizar al 2030 (8).

Según el artículo denominado “Los impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007)”, donde se evaluaron los registros de precipitaciones mensuales de más de 150 estaciones ubicados en las tres vertientes hidrográficas del Perú divididas de la siguiente manera: 85 en la del Pacífico, 49 en el Amazonas y 21 en la del Lago Titicaca. En primera etapa se clasificó los fenómenos de El Niño y La Niña, luego se observó como resultado que en los fenómenos El Niño Fuerte y La Niña Fuerte se obtuvo un elevado porcentaje con anomalías en la data de precipitación y estas ubicadas en su mayoría en la Vertiente del Pacífico y Vertiente del Titicaca durante los meses de diciembre a mayo. En segunda etapa se analizaron los modos resaltantes de varianza interanual de las precipitaciones en el país. Los resultados se relacionaron con las variables de temperatura superficial del océano y los índices IOS. Se obtuvo que las principales variables de las lluvias están asociado a los dos eventos EN de los años 1983 y 1998, lo cual ocasiono gran cantidad de lluvias en el norte de la Vertiente del Pacífico y sequías en la Vertiente del Titicaca y la Vertiente del Amazonas. En conclusión, se puede decir que para poder explicar en su totalidad la variabilidad pluviométrica en el Perú, se debe considerar no solo la variabilidad del océano Pacífico sino también de otras regiones como el Océano Atlántico Tropical (9).

Según la tesis titulada “Análisis de la variabilidad climática de precipitación, temperatura, radiación solar y nubosidad y su incidencia en los caudales medios del río Fonseca en San Gil (Santander)”, el estudio tuvo el propósito de evidenciar el cambio climático y las variabilidades tanto en las precipitaciones anuales, como en la temperatura media anual y caudales medios en el río Fonseca, San Gil. Analizó datos recolectados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales de las estaciones ubicadas en el mencionado río, para determinar los probables cambios climáticos a los que estará expuesta esta región en posteriores años, también se comparó con estudios hidrológicos que se realizaron por varias entidades nacionales y así plantear un posible escenario de cambio climático en la ciudad de San Gil. Como resultado se obtuvo un incremento de la temperatura y de las lluvias de acuerdo iban pasando los años. En este estudio se utilizaron técnicas estadísticas (10).

De acuerdo a la Tesis nombrada “Determinación de la variabilidad climática y cambio climático mediante el análisis de la temperatura y la precipitación en el distrito de Contumazá durante el período 1965-2018”, evaluó 54 años de datos, cuya información se tuvo por registros tomados diariamente de la estación de Climatología Ordinaria Contumazá, de temperaturas máximas, temperaturas mínimas y precipitaciones. Como resultado mostraron que existe cambios climáticos de la temperatura máxima y mínima, debido al fenómeno “El Niño Oscilación Sur”. Cuando realizaron el estudio con el test de

Mann Kendall pudieron encontrar que la temperatura mínima es ascendente y también en la precipitación, obteniendo una varianza de 0,012 °C/año y 3,6 mm/año respectivamente (11).

La tesis doctoral “Variaciones térmicas y pluviométricas como indicadores del cambio climático en el valle de Cajamarca”, en la cual se evaluó la temperatura con una base de datos de 60 años entre 1950-2009, y de precipitación de 45 años de los años 1963-2009. Los datos fueron obtenidos de la estación Meteorológica Augusto Weberbauer, en Cajamarca-Perú. Los resultados que se obtuvieron durante el proceso de evaluación fueron que hay una gran variabilidad diaria, mensual y anual para la temperatura mínima, máxima y media; se obtuvo también que, la temperatura mínima ascendió en 0,26 °C, y la temperatura máxima, en 0,60 °C en las últimas seis décadas. Estos datos, indican un cambio climático importante. En cuanto a la precipitación total anual ha incrementado en 54,75 mm/año durante las últimas dos décadas. Se concluyó que, en el valle de Cajamarca se viene dando cambios evidentes en el clima (12).

De acuerdo a la tesis de maestría “Efectos de la deforestación sobre el cambio climático en la región de San Martín”, se analizó la temperatura y precipitación de una base de datos de 45 años; obteniendo como conclusión que, en Perú en la región San Martín, la temperatura media tiene tendencia ascendente, ya que en los últimos 45 años incrementó en 0,8 °C, aproximadamente 0,18 °C cada 10 años; también la temperatura máxima ascendió en 0,9 °C, a razón de 0,2 °C por decenio; sin embargo, la temperatura mínima, tuvo el mayor incremento con 1,3 °C, aproximadamente de 0,29 °C cada decenio. Como resultado se pudo concluir que la precipitación en la región de San Martín es descendente, ya que en 45 años ha disminuido un 6,25 %, lo que quiere decir 1,39 % por década (13).

La investigación “Análisis del comportamiento climático de los últimos 30 años, en las costas de Esmeraldas, Manta y Puerto Bolívar durante la época Húmeda”, el estudio se realizó con el fin de investigar cómo era el comportamiento del clima en su época húmeda de la costa ecuatoriana en las últimas tres décadas, se analizó de los datos mensuales promedio de los años 1981-2010, se tomó los datos de lluvias, temperaturas superficiales del aire y del océano en tres estaciones: Esmeraldas, Manta y Puerto Bolívar, estas se encuentran a lo largo de la costa ecuatoriana. La investigación tuvo por objetivo estudiar y proyectar los posibles cambios de los parámetros de temperatura y precipitación, en los resultados se pudo visualizar un aumento ligero en la media y la desviación estándar de la temperatura en comparación a la Época Húmeda entre los años de 1975-2000 al de 1981-2010, viendo claramente el aumento de la temperatura. En cuanto a las lluvias se registró datos distintos en las diferentes estaciones. En la estación de Puerto Bolívar se proyecta un incremento; sin embargo en las estaciones de Esmeraldas y Manta se puede proyectar

una disminución. Considerando la mínima varianza en las estaciones, se pudo demostrar claramente como la temperatura va ascendiendo al pasar de los años (14).

Según el MINAM en su tercer informe sobre el Cambio del clima en nuestro país, en conjunto con entidades como el Servicio de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), de acuerdo al estudio que se realizó desde el año 2010 hasta el 2015, en cuyo estudio se utilizó dos escenarios de emisiones (RCP 45 y RCP 80) y tres modelos climáticos globales (CanESM2, CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR); concluye que la temperatura media y la precipitación incrementarán para los años 2036 al 2065. También se pueden obtener como datos, que la temperatura mínima será mayor que la temperatura máxima, en el caso de la temperatura mínima aumentará entre 4,0 °C y 6,0 °C y entre 2,0 °C y 3,0 °C de la temperatura máxima. Así mismo los mayores incrementos de temperatura serán en la sierra del sur. Para el caso de la precipitación hay aumento de resultados de 10 % y 30 % en promedio, más pronunciado en la sierra norte y las costas norteñas. (15).

La investigación desarrollada en Falla, ubicada en la provincia Ciego de Ávila. Se analizaron datos de lluvia acumulada y cantidad de días con precipitación desde el año 1977 al 2006, siendo una investigación de datos de tres décadas. Se aplican métodos de análisis de series de tiempo como la media porcentual, la media móvil y el suavizado exponencial. Se encontró que la función normal era más adecuada para adaptar datos experimentales y crear mapas climáticos regionales. La evidencia del cambio climático se identifica mediante eventos climáticos extremos, patrones de movimiento y curvas acumulativas de las variables estudiadas. Los resultados muestran que desde el año 2000, las lluvias y los días de lluvia han tendido a disminuir no solo cada año, sino también durante la temporada de lluvias (16).

El cambio climático es un tema fundamental hoy en día que concierne a todos los funcionarios y en cualquier agenda de gobierno. Algunos investigadores abordan este tema como una de las principales tendencias de una sociedad posmoderna. El deterioro del medio ambiente causada por el cambio del clima es un problema al cual lo podemos denominar como una bomba de tiempo y debe cerrarse para que no desaparezcamos como especie del planeta Tierra. Las acciones a tomar para dar un giro al declive deben iniciar con la educación continua y una mayor voluntad política en este sentido. La comunidad científica advierte sobre cuatro puntos clave junto con el momento de la acción (17).

Perú es uno de los 10 países con mayor diversidad a nivel mundial, con los bosques amazónicos más grandes después de Brasil, las montañas tropicales más grandes, contamos con el 71 % de glaciares, de las 117 zonas de vida encontradas en el mundo 84

son parte del Perú y tenemos 28 de los 32 climas existentes en el planeta. La megadiversidad del Perú, está en peligro debido a las consecuencias que trae consigo el emitir los gases de efecto invernadero, aunque el país solo emita el 0.4 % de estos gases. Por lo tanto, somos uno de los tres primeros países con más vulnerabilidad a los cambios del clima. Es preocupante mencionar que, en los últimos tres decenios, hubo un derretimiento del 22 % de la superficie de los glaciares. El MINAM (2009) estableció una política ambiental nacional para lograr el desarrollo sostenible en el Perú, que se elaboró basándose en la declaración de Río, entre otros tratados y declaraciones internacionales que cuentan con la suscripción de Perú en temas ambientales (18).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fundamento teórico

2.2.1.1. Climatología

La climatología es una ciencia que estudia el clima, tanto los cambios climáticos y su variabilidad, cómo funciona el sistema del clima, sus fluctuaciones, y su impacto en una variedad de actividades, incluidos los recursos hídricos y la salud del hombre. Estrictamente hablando, el clima se refiere a las condiciones climáticas normales para un sitio específico y un lapso de tiempo establecido. Se puede explicar el clima mediante una combinación de una descripción estadística de la tendencia central y la variación de factores relacionados como temperatura, lluvias, presión de la atmósfera, humedad y viento, o factores como fenómenos meteorológicos propios de ese lugar, en cualquier tiempo determinado. Adicionalmente de estudiar la climatología estadísticamente, esta también puede ser estudiada como un determinante de la actividad humana o como un recurso o riesgo futuro (19).

2.2.1.2. Variabilidad del clima

La variabilidad del clima son los cambios que ocurren en el clima durante un período este puede ser intraestacionales, interanuales e interdecenales. Este término generalmente se asocia con cambios que alteran el proceso de la atmósfera y océanos, también alteran la superficie terrestre y sus propiedades a nivel intraestacional o interdecenal (19).

2.2.1.3. El sistema climático

Es un conjunto de cinco componentes que interactúan entre sí, este es complejo y está constituido por la atmósfera, biósfera, litosfera, criósfera e hidrósfera. Iniciando por la atmósfera que es la capa de gas que está alrededor del planeta. La atmósfera

seca casi en su totalidad está compuesta de nitrógeno y oxígeno, pero a su vez contiene muchos otros gases traza. También se encuentra en la atmósfera agua en estado de vapor y nubes. La biosfera está conformada por todo aquello que tiene vida y sus ecosistemas, así como también la materia orgánica muerta presentes en la Tierra y sus interrelaciones. La litósfera es la capa superficial sólida del planeta, que está formada por la corteza, así como también por los fondos del mar. La criósfera es la parte de la tierra donde el agua se presenta en estado de congelación en esta incluimos toda la nieve y el hielo. La hidrósfera de la tierra comprende el agua en estado líquido, esta se distribuye por encima y debajo de la superficie terrestre, es por ello que contamos con ríos, mares, océanos, así como también embalses subterráneos (19).

El Sistema Climático es muy amplio y complejo como ya se puede mencionar anteriormente, podemos decir que este sistema está en constante evolución conforme pasan los años debido a la influencia de su propia dinámica interna, influye también las erupciones volcánicas y variabilidad solar, y cambios ocasionados por el hombre (20).

2.2.1.4. Cambio climático

Cambio climático da referencia a los cambios sistemáticos en las características del clima según estadísticas como la media y varianza, durante un largo período de tiempo ya sean décadas o siglos, representado por valores que aumentan o disminuyen debido al aumento de precipitaciones extremas. Durante la mayor parte de la historia del clima del planeta Tierra, los cambios climáticos sistemáticos han sido ocasionados por causas normales, como la irradiación del sol, también influye la evolución de los componentes “naturales” que conforman el sistema del clima. Sin embargo, a la fecha se puede afirmar basándose en evidencias, que el hombre y sus actividades influyen en el sistema climático (19).

Los cambios significativos en las condiciones climáticas, de acuerdo a estudios estadísticos, según lo determinado por los cambios en la media y sus características, duran largos períodos de tiempo, a menudo décadas o más.

Los cambios en el clima pueden ser causados por sucesos internos naturales o fuerzas externas como cambios en el ciclo solar, la erupción de volcanes, el uso inadecuado que se le da al suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) estipula en su artículo 1° que los cambios del clima se deben a la alteración de la atmósfera debido a las actividades humanas, ya que está dañando su composición y esto sumado a los cambios naturales del clima

que se pudo observar en un tiempo comparable determinado. La CMNUCC, distingue la diferencia de los cambios climáticos inducidos por la actividad del hombre y los que son debido a causas naturales (20).

Se llama cambio climático a la variación del clima vinculado a la historia climática global o regional. Tales cambios ocurren en todos los parámetros meteorológicos (temperatura, presión barométrica, precipitación, nubosidad, etc.) en escalas de tiempo muy diferentes. El término se usa a menudo como sinónimo de calentamiento global y se usa libremente para referirse a los cambios que se ven en el clima en curso. La Convención Marco de las Naciones Unidas se refiere al término Cambio Climático solo cuando este es ocasionado por las actividades del hombre.

Por "Cambio climático" se refiere a un cambio de clima, directa o indirectamente, causado por la actividad humana, que cambia la composición de la atmósfera terrestre y aumenta los cambios naturales en el clima. Los efectos se observan durante un período comparable.

Se llama cambio climático natural porque se produce continuamente por causas naturales. En algunos casos, el término "cambio climático artificial" también se utiliza para referirse a los cambios provocados por los seres humanos.

El cambio climático no solo implica el calentamiento global, sino también cambios en las precipitaciones, la cobertura de las nubes y otras variables que se encuentren dentro del sistema atmosférico. Debido a lo complejo del problema y sus numerosas interacciones, nos demuestra que la única manera de evaluar estos cambios es utilizar modelos informáticos que simulen la física atmosférica y oceánica. La naturaleza caótica de estos modelos significa una alta tasa de incertidumbre, lo que les impide predecir cambios futuros significativos, tanto económicos como biológicos (21).

2.2.1.5. Consecuencias del cambio climático en el Perú

Las principales consecuencias del aumento de las temperaturas en Perú están asociados con el derretimiento del hielo, la mayor intensidad del fenómeno de "El Niño" el cual afecta la infraestructura de carreteras, puentes, canales, entre otras estructuras, también se puede observar el nivel ascendente de los océanos, nuevas plagas y por lo tanto nuevas enfermedades, efectos en la salud pública asociados con mayores rendimientos y enfermedades a la población como influenza, enfermedades respiratorias, malaria, cólera e hipertermia neonatal. La pesca de igual manera se ve afectada, lo que incide en la disposición de recursos como la anchoa, el calamar, el calamar, entre otros (8).

2.2.1.6. Cambio climático abrupto

Los grandes cambios en el sistema climático que tienen lugar durante décadas y que duran (o se espera que duren) al menos décadas están causando graves alteraciones en los sistemas naturales y humanos (20).

2.2.1.7. Cambio climático asegurado

Se da por la inercia térmica del océano y algunos procesos lentos en la criósfera y la superficie, el clima continúa cambiando, a pesar de que la composición atmosférica permanece fija en los valores actuales. La variación en los componentes de la atmósfera está sujeto a cambios climáticos garantizados, mientras continúen los desequilibrios de radiación y continuará hasta que dichos componentes se adapten a las nuevas condiciones. El cambio de temperatura que ocurre cuando la composición de la atmósfera es estable se llama cambio de temperatura confiable de composición constante o calentamiento confiable. Este tipo de cambio climático también implica cambios en el ciclo del agua, condiciones climáticas extremas, nivel del mar, etc. El cambio climático se asegura manteniendo constantes las emisiones antropogénicas cuando las emisiones permanecen constantes y el cambio climático estableciendo emisiones a cero cuando las emisiones son cero (20).

2.2.1.8. Sensibilidad Climática

Según el informe del IPCC, la sensibilidad climática al equilibrio (unidad: ° C) representa una variación de equilibrio se podría decir en un estado constante de la temperatura media global de la Tierra a causa del doble de dióxido de carbono concentrado en la atmósfera. Debido a algunas limitaciones computacionales, la sensibilidad climática al equilibrio de los modelos climáticos a menudo se estima a través de un modelo de circulación general de la atmósfera en combinación con un modelo oceánico de capas mixtas. Esto se debe a que la sensibilidad a los gases está determinada principalmente por procesos atmosféricos.

Puede utilizar un modelo eficaz que promueva el equilibrio dinámico con el océano. El parámetro sensible al clima (unidad: °C (W m⁻²)⁻¹) indica el cambio de la estabilidad en la temperatura superficial media global anual debido al cambio unitario en la fuerza radiativa. La sensibilidad climática real (unidad: C) es una estimación de la respuesta de la temperatura superficial promedio global a concentraciones de dióxido de carbono dos veces la concentración de desequilibrio, según se evalúa a partir de los resultados de un modelo o una observación. Este es un indicador de la magnitud de la respuesta climática en un momento dado y puede diferir, ya que puede variar según la historia del forzamiento y las condiciones meteorológicas (20).

2.2.1.9. Usos de la información e investigación climatológicas

Para analizar el clima son estudios dinámicos de una ciencia que engloba ampliamente una gama de programas y aplicaciones. Se vienen implementando nuevas formas y técnicas todo ello en conjunto con investigaciones, con el objetivo de analizar el clima en varios sectores de gran importancia como lo es la agricultura, la industria, la energía, la salud pública, el transporte, la pesca, entre otros. Existe la necesidad de un programa de estudios de viabilidad sobre el sistema climático y sus impactos generalizados y la aplicación del conocimiento climático, con la finalidad que los climatólogos puedan brindar información y asesoramiento a los interesados y así resolver sus dudas sobre el clima.

La climatología aplicada utiliza información y conocimientos de meteorología y climatología para resolver problemas sociales, económicos y ambientales del mundo real. Los servicios de cambio climático están diseñados para servir a los intereses de una gran población tanto en el sector público, industrial y comercial. Las consecuencias evaluadas de la variabilidad del clima que influyen en las actividades humanas, así como también las consecuencias de las actividades del hombre en el clima, son puntos relevantes en el desarrollo socioeconómico en todo el mundo (19).

2.2.1.10. Efecto invernadero

Cuanto mayor sea la cantidad de emisión de estos gases, mayor será la magnitud de las consecuencias, una diferencia comúnmente conocida como incremento del efecto invernadero. La variación en la concentración de gases de efecto invernadero debido a las emisiones atribuidas por el hombre, contribuyen a la tendencia ascendente de la temperatura de la superficie y la troposfera debido a la fuerza radiativa instantánea ejercida en respuesta a este forzamiento, que restablece gradualmente el equilibrio radiativo de la atmósfera superior (20).

2.2.1.11. Gas de efecto invernadero (GEI)

Son aquellos gases de la atmósfera que se encuentran de forma natural o artificial que absorben y irradian una determinada longitud de onda en el espectro de radiación terrestre, que emana de la superficie terrestre, la atmósfera y las nubes. El vapor de agua, el óxido nitroso (N_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el ozono (O_3) y el metano (CH_4) son los principales gases de efecto invernadero que se encuentran en la atmósfera. La atmósfera adicionalmente contiene otros gases de efecto invernadero emitidos netamente por el hombre, dentro de ellos encontramos a los halocarbonos u otras sustancias que en su contenido tienen cloro y bromo, estos ya se encuentran incluidos en el Protocolo de Montreal. Además, en el Acuerdo de Kyoto considera

dentro también a los gases: hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) (20).

2.2.1.12. Factores determinantes del clima

Estos factores son los datos de latitud, altitud, vientos, corrientes marinas, el relieve, entre otros, los cuales modifican o pueden limitar los elementos del clima, lo que da lugar a la gran variedad de climas que tenemos en el planeta (22).

2.2.1.13. Elementos característicos del clima

Los datos a evaluar en los estudios del clima son la temperatura del aire, las precipitaciones, el viento, la humedad, la evaporación, la presión atmosférica, la radiación solar (19).

2.2.1.14. El clima en el Perú

Debido a su ubicación geográfica, el Perú es un país tropical con un clima cálido y húmedo y fuertes lluvias. Sin embargo, los países tienen diferentes climas tropicales y subtropicales debido a los dos factores decisivos y estos son la Cordillera de los Andes y las corrientes del Humboldt ya que influyen y pueden modificar drásticamente sus condiciones ecológicas. Es por ello que el Perú cuenta con casi todos los tipos de clima que hay en el mundo. Según estos determinantes, Perú tiene casi todo el cambio climático que se produce en el mundo. Debido a las corrientes frías del Perú, el clima costero es templado y húmedo. En las zonas montañosas, el clima puede variar de templado hasta el frío glacial; y por lo contrario en la selva es cálido y húmedo, con abundancia de lluvias. En general, contamos con dos tipos de clima en la costa, estas ubicadas entre Lambayeque y Tacna, el subtropical, con temperatura media que es alrededor de 18 °C y 21 °C y con una excesiva humedad atmosférica que llega a alcanzar a 90 y 98 %. Por otro lado, entre Tumbes y Piura es semitropical, con una temperatura media anual de 24 °C, lluvias periódicas de verano y abundante humedad. Sin embargo, el clima de la sierra es variado; las temperaturas medias pueden variar entre 6 °C y 16 °C. Sobre los 4500 msnm encontramos las cumbres nevadas que presentan un clima glacial y el altiplano soporta un clima helado; Las laderas bajas son moderadamente cálidas y los valles profundos son cálidos (23).

2.2.1.15. Temperatura del aire

La meteorología realiza la medición de temperatura de muchos entornos. La variable que se mide con más frecuencia es la temperatura. Esta es la temperatura tomada por un termómetro expuesto al aire, debe contar con una protección para no tener

contacto con la radiación solar directa. Se tiene como unidades de medida grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) y grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) (19).

Es cuya temperatura del aire se registró en el instante de la lectura.

- Temperatura de punto de rocío: se obtiene cuando el aire está condensado y esto se da cuando alcanza la saturación. Su equipo de medición es el psicrómetro.
- Temperatura Máxima: se presenta entre las 14:00 y las 16:00 horas, se considera la mayor temperatura registrada en el día.
- Temperatura Mínima: se presenta entre las 06:00 y las 08:00 horas, se considera la menor temperatura registrada durante el día (24).

2.2.1.16. Variación de la temperatura del aire

Esta variación se da debido a las diferencias en la cantidad que se recibe de la energía del sol y no son uniformes en todas las regiones de la tierra, dependiendo de la hora del día, la estación y la latitud (11)

2.2.1.17. Medición de la temperatura del aire

La temperatura de la superficie del aire se mide en una estación meteorológica en una cabina utilizando tres termómetros uno seco, uno de máxima y uno de mínima.

En las estaciones meteorológicas, los observadores meteorológicos realizan observaciones, monitores, mediciones y registros; esta actividad se realizó tres veces al día según el procedimiento de observación. La primera observación fue a las 7:00 horas, la segunda fue a las 13:00 y la tercera y última observación fue a las 19:00 horas. Durante estos tiempos también se realizan mediciones y registros de termómetros de máximos y mínimos (11).

La temperatura máxima y mínima su unidad de medición es en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) (11).

Para obtener la temperatura máxima la lectura se debe realizar a las 19:00 horas, esto suele suceder 2 o 3 horas después del mediodía. La temperatura más baja, por otro lado, se toma de la observación número uno del día, a las 7:00 horas, ya que comúnmente se da en las primeras horas del día (11).

2.2.1.18. La precipitación

La precipitación es producida por la caída directa de gotas de agua o cristales de hielo derretidos, y cuanto más grandes son las gotas, más altas son las nubes que las forman y también más alta es la humedad del aire, debido a que se produce la condensación sobre ellas el vapor de las capas que van pasando.

Durante este recorrido, muchas gotas llegan a juntarse y estas caen por su propio peso, teniendo una velocidad que puede variar entre 4 y 8 m/s, ello depende de su tamaño y la influencia del viento. El tamaño de las gotas puede variar entre los 0,7 y los 5 milímetros de diámetro. Comúnmente, una gota común de lluvia es de un milímetro de diámetro. La lluvia es el resultado del ascenso y posteriormente del enfriamiento del aire húmedo, debido a que a menor temperatura no es posible retener todo el vapor de agua, por lo que se produce la condensación rápidamente, y se da de las siguientes formas:

- Convección: Se da debido a que una masa de aire sube porque su temperatura es más alta, y al ser esta más ligera que el aire que la rodea. Como resultado se da la condensación, ya que la masa se enfría, lo que se denomina lluvia por convección.
- Lluvia orográfica: Este tipo de lluvia se produce al momento de que una masa de aire puede ser forzada a elevarse a niveles más fríos, esta se produce cuando, por ejemplo, en el transcurso de su camino se encuentra una cadena montañosa. La lluvia producida en estas circunstancias se denomina lluvia orográfica.
- Lluvia frontal o ciclónica: Tiene un proceso parecido al mencionado anteriormente y se obtiene cuando una gran cantidad de aire caliente se da el encuentro con una gran cantidad de aire frío. Dado que las masas de aire comúnmente no se mezclan, el aire caliente cruzará el aire frío, lo que produce el enfriamiento, la condensación y posteriormente la precipitación (24).

2.2.1.19. Medición de la precipitación

En el Perú utilizamos para medir la precipitación el pluviómetro Hellman, lo cual fue determinado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, se utiliza para la medición de la precipitación el pluviómetro tipo Hellmann, el cual consiste en un recipiente cilíndrico de metal que se instala al aire libre apoyado a un poste, con la finalidad de que la abertura del pluviómetro quede al mismo nivel de la paralela con la horizontal y se ubique a 1,20 m del suelo. Las mediciones de la acumulación de las precipitaciones en el equipo de medición (pluviómetro), se deben realizar a las 7:00 y 19:00 horas, ya que el “día pluviométrico” es considerado desde las 7:00 horas del día hasta las 7:00 horas del día siguiente, esto fue determinado por la OMM teniendo como objetivo estandarizar las diferentes redes pluviométricas con las que se cuenta en el mundo (11).

El equipo más común para realizar las mediciones de precipitación es el pluviómetro Hellmann, el cual tiene tres partes:

- a) El receptor, tiene la finalidad de recoger la precipitación, consta de una boca que está compuesta por un aro con un área de 200 cm^2 , también, en el fondo tiene un embudo en el cual sus paredes presentan una inclinación con la finalidad de que reboten las gotas de lluvia que caen en la pared y así introducirse por el embudo directo al recipiente colector.
- b) El recipiente colector, es de material metálico galvanizado que tiene una boca continua del pico que va hacia el embudo, con la finalidad de recolectar la lluvia que fue captada en la parte del receptor.
- c) El protector, es de material metálico de forma cilíndrica que tiene por objetivo cubrir en su interior el colector y brindar una cámara de aire la cual evita que el agua de lluvia se evapore (19).

Para tomar las medidas de la precipitación en el equipo Hellmann, se debe contar con una probeta con medición en milímetros donde se procederá a vaciar la lluvia acumulada, después de retirar la parte del receptor y retirar el recipiente colector (11).

2.2.1.20. Análisis de tendencias

La tendencia es el resultado del comportamiento general de la serie en el tiempo. Las formas de las líneas de tendencia pueden variar, ya que pueden ser rectas o curvas, estas pueden ser ascendentes o descendentes y en algunos casos sin variaciones por lo tanto serían líneas estacionarias.

El análisis de tendencias se utiliza para analizar los cambios tanto de la temperatura y la precipitación en un periodo de tiempo determinado. Con respecto a las series de tiempo de precipitación regional, temperatura media, temperatura máxima y mínima o series de tiempo, las tendencias se analizan mediante la aplicación de métodos numéricos y estadísticos conocidos como test paramétricos y no paramétricos. También existe una metodología que permite estudiar la sensibilidad del análisis de tendencias sobre diferentes tiempos.

Es importante destacar que las tendencias que pueden haberse identificado a lo largo del tiempo en los datos referente a los cambios del clima se pueden atribuir a una variedad de causas, incluido el cambio del clima a nivel global, el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero y el cambio climático. El análisis de tendencias por sí solo no puede determinar la causa (25).

2.2.1.21. Método para determinar la tendencia de la precipitación

El análisis exploratorio de una serie hidro climatológica implica la detección de tendencias y/o la presencia o ausencia de cambios de secuencia y uniformidad por

medios gráficos y cuantitativos. El diagrama del método de análisis exploratorio comienza con un análisis gráfico, como por ejemplo los diagramas de cajas, histogramas, las gráficas de series de tiempo, luego continúa con la prueba de normalidad, con la finalidad de ver si es posible o no distribuir los datos normalmente y por último concluye con el análisis confirmatorio, que se da gracias a pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas (26).

2.2.1.22. Test paramétricos

Un test paramétrico da lugar a un modelo matemático, este modelo tiene la finalidad de condicionar la muestra y su población a investigar, con parámetros estadísticos. La respuesta de este tipo de pruebas va a depender de las hipótesis o condiciones de los datos estadísticos que se realicen:

- Datos de series temporales independientes entre sí y distribuidos normalmente.
- Los que siguen una distribución en particular de datos de series temporales y desviaciones de la tendencia.
- Población que cuenta con la misma varianza y en algunas ocasiones espaciales deben tener una parte de varianza conocida.

Estas pruebas son de gran utilidad porque también cuantifican cambios en la data, como varianzas en la tendencia media y la pendiente. En general, estas pruebas son más importantes que las pruebas no paramétricas (25).

2.2.1.23. Test para tendencia – Regresión Lineal

Con este test se puede asumir que los datos se encuentran en una distribución normal. Confirma que haya una tendencia lineal evaluando las relaciones entre el tiempo (x) y la variable de interés (y).

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

El gradiente de regresión es estimado con:

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

Y la intercepción se calcula como:

$$S = b/\sigma$$

El S del test estadístico es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{12 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2}{n(n-2)(n^2-1)}}$$

Donde:

La S de la prueba estadística sigue una distribución T-Student con n-2 grados de libertad bajo la hipótesis nula.

Con este test se puede asumir que los datos están con una distribución normal y que los errores que se refiere a los errores de la tendencia, son independientes y continúan la distribución normal con media 0 (25).

2.2.1.24. Test no paramétricos

Las pruebas no paramétricas responden a modelos matemáticos de distribución libre. Este modelo no condiciona la muestra y la población en estudio en los parámetros estadísticos.

El significado de la respuesta de este tipo de prueba va depender de alguna hipótesis o condición estadística asociada a este tipo de prueba y es menos probable que esté condicionada por pruebas paramétricas.

Estas pruebas tienen el objetivo de detectar tendencias o cambios, pero no pueden cuantificar su magnitud. Estos son de utilidad debido a que la mayoría de los datos hidrológicos de series de tiempo no se distribuyen normalmente (25).

2.2.1.25. Mann – Kendall (test para tendencia)

Método que estadísticamente se basa en el rango de dos variables, se utiliza ampliamente en estudios que tienen el propósito de identificar tendencias en series de variables hidrometeorológicas, referente a si ascienden o descienden, pero no las cuantifica.

Además de tendencias detecta saltos (25).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \operatorname{sgn}(X_j - X_i) = 1$$

$$\text{Si } (X_j - X_i) > 0 \quad s(X_j - X_i) = 1$$

$$\text{Si } (X_j - X_i) = 0 \quad s(X_j - X_i) = 0$$

$$\text{Si } (X_j - X_i) < 0 \quad s(X_j - X_i) = -1$$

Donde: n Tamaño de la muestra X_j y X_i Datos secuenciales

Cada par de valores observados Y_i, Y_j ($i > j$) de la variable aleatoria es inspeccionado para encontrar cuando $Y_i > Y_j$ o $Y_i < Y_j$.

Si P es el número de pares positivos, y M el número del tipo de pares negativos, podemos indicar que la S se define como $S = P - M$. $Z = \frac{S-1}{\sigma}$ Si $S > 0$ Si $S = 0$ $\frac{S+1}{\sigma}$ Si $S < 0$ $\sigma = \sqrt{n(n-1)}$ (2n+5)18

P-value: Es la posición de Z en la distribución normal, con ello se puede determinar si es aceptada o rechazada la hipótesis nula.

El test tiene hipótesis nula $H_0 =$ no hay tendencia, y la hipótesis alternativa es $H_1 =$ existe tendencia a cierto nivel de significancia a elegir (11)

2.2.1.26. Series de Fourier

La aplicación más acertada en cuanto a la teoría de Fourier es la que se ocupa del procesamiento de seguimientos periódicos. De hecho, las respuestas tienen una interpretación física sencilla, como veremos más adelante.

a) Funciones periódicas

Primero, necesitamos conocer la definición de función periódica porque su valor se repite a intervalos regulares. El tiempo entre repeticiones consecutivas se llama periodo. Matemáticamente, la función de tiempo se llama periódica ya que se cumple con lo siguiente:

$$f(t) = f(t + T)$$

El valor de t. La constante mínima que cubre la anterior relación se considera T (período) y da la respuesta en unidad de medida de segundos.

2.2.1.27. Obtención de la Serie Fourier

La serie Fourier asegura que las funciones periódicas f(t), complejas o no, se puede transformar en simples sumas de senos y cosenos, cuya frecuencia es múltiplo de la función periódica. Esto quiere decir que la función se puede descomponer en una serie armónica infinita expresada como:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega_0 t + b_n \text{sen } n\omega_0 t = C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(n\omega_0 t - \theta_n)$$

donde:

- ω_0 (o $f_r = \omega_0 / 2\pi$) es la frecuencia de la función periódica y recibe el nombre de frecuencia fundamental.
- a_n , b_n , C_n y θ_n son los coeficientes de la Serie de Fourier que definen las senoides cuya frecuencia es múltiplo de la fundamental.

La parte fundamental de la Serie Fourier es la frecuencia que tiene coincidencia con la fundamental ($n=1$): $a_1 \cos \omega_0 t + b_1 \text{sen} \omega_0 t$ o $C_1 \cos(\omega_0 t - \theta_1)$ (27).

2.2.1.28. Análisis de series de tiempo

Serie de tiempo: Son los datos representados de manera estructurada, en la cual se puede verificar una data de fecha y hora que lleva consigo un valor. Por lo tanto, podemos decir que es una serie de data con intervalos regulares de tiempo.

Una serie de tiempo se puede caracterizar de acuerdo a sus componentes:

1. Tendencia: Es un factor que se puede determinar en un periodo de tiempo largo, el cual permite observar si fue ascendente o descendente la serie. Cuando la serie es fija, la varianza y media no cambian.
2. Estacionalidad: Es como se comporta una serie durante un período de tiempo. En las series temporales se pueden formar patrones que se repiten en cada período.
3. Ciclos: Se consideran como errores de la serie subyacente debido a una variedad de factores que comúnmente son externos, a diferencia de la estacionalidad. El tiempo y duración del ciclo no siempre son regulares.
4. Aleatoriedad: Fluctuaciones impredecibles o no cíclicas por debajo de la serie (28).

2.2.1.29. Métodos para series de tiempo

Los métodos analíticos de esta serie tienen en cuenta la posibilidad de correlación entre los datos históricos, así como las tendencias subyacentes y la estacionalidad que las determinan.

Los métodos se pueden clasificar según:

1. Métodos de pronóstico y suavizamiento simple: En base a los patrones que ya existen, los cuales se dan por tendencias, estacionalidad y ciclos, se elige el método apropiado, ya sean estáticos que se caracterizan por tener repetidamente el mismo comportamiento o pueden ser dinámicos ya que se van modificando con el transcurso del tiempo. En base a esto, se da la descontextualización hacia el futuro.
2. Métodos de análisis de correlaciones y modelo ARIMA: Usan el modelo base de la serie, pero usan funciones de diferenciación, autocorrelación y autocorrelación parcial. Es más flexible que el método simple, pero no es fácil de automatizar.

Adicionalmente a los modelos señalados con anterioridad, se tiene las técnicas o formas de aprendizaje automáticas denominadas machine learning, estos son sistemas que aprenden automáticamente. Se puede decir que tienen la habilidad de

identificar patrones complejos en sus datos y predicen el comportamiento futuro basándose en ellos. El término "automático" significa que estos modelos están en constante aprendizaje por sí mismos con el pasar del tiempo. Específicamente, los pesos relativos de los factores (el modelo es equivalente a una regresión no lineal) se ajustan a lo largo del tiempo, gracias a la nueva data y valores de salida a medida que se reentrena el modelo (28).

Existen dos tipos de pronósticos:

1. Predicción de un paso: Usan la información de datos anteriores y pueden dar el pronóstico del siguiente valor.
2. Predicción recursiva de largo plazo: Este va requerir valores que ya fueron calculados por su propio sistema para poder estimar los próximos valores (28).

2.2.1.30. Metodologías para el análisis de series de tiempo hidro climatológicas

Se inicia con un análisis riguroso de la información y luego se procede al análisis estadístico para confirmar la hipótesis de interés.

Etapas de la metodología.

- 1) Inventario de información disponible: Se considera como el primer paso para poder realizar un análisis hidrológico de series de tiempo. Aquí, en el primer caso, es necesario identificar las estaciones disponibles y especificar el tipo de estación, su posición, el tiempo del registro disponible, y las variables con las que cuentan las estaciones y sus registros ya sea de precipitación, temperatura, caudales, entre otros. Posteriormente, se debe evaluar rigurosamente la información disponible. La evaluación incluye determinar el nivel de agregación.
- 2) Análisis de calidad, consistencia y validez de la información: Después de determinar la información disponible, este es el primer paso en el análisis hidrológico. Esto se debe a que es posible identificar la calidad de la información con la que se dispone, los outliers, el porcentaje de información que no se encuentra completa o es inexistente, contribuyendo así a la reducción de la incertidumbre, por error de datos. Sin embargo, la información hidrometeorológica siempre tiene un margen de error cuando se mide con un equipo de adquisición de datos, por lo que debe quedar claro que siempre hay incertidumbre en los resultados. Sin embargo, como parte de este análisis de información preliminar, se deben realizar análisis de anomalías y datos faltantes y análisis de base exploratoria. Este tipo de análisis se describe a continuación.

- a) **Análisis de datos anómalos y datos faltantes:** Para poder realizar una adecuada y eficiente caracterización de las series hidrométricas, es recomendable que las series de tiempo estén completas y no haya el vacío de datos faltantes.

Para datos anómalos, se realiza otro tipo de predicción. En este caso, no se realiza la regresión mediante covariables, por lo que existen enfoques gráficos como el análisis residual de regresión lineal.

- b) **Análisis exploratorio gráfico:** Las metodologías analíticas exploratorias para detectar la presencia de tendencias y cambios específicos y la uniformidad de las series comienzan con un análisis gráfico. Las series de tiempo tienen muchas aproximaciones para determinar visualmente el comportamiento de la serie.

Gráficas de series de tiempo: En este tipo de gráfico, los datos se muestran en orden cronológico en coordenadas verticales y la hora (fechas) en el eje horizontal. Se trata de gráficos que muestran tendencias, cambios y posibles discontinuidades, entre otros atributos de la serie. Tenga en cuenta que en la mayoría de los casos es difícil mostrar la tendencia con esta aproximación gráfica. Por esta razón, se da el uso de una herramienta llamada *LOWESS*, siglas en inglés que significan: “Locally Weighted Scatterplot Smoothing”. Utiliza el método de mínimos cuadrados ponderados para ajustar una curva a un conjunto de puntos, para “suavizar” la serie con el principal objetivo de identificar relaciones entre variables o identificar tendencias. Estos tipos de gráficos se aplican a la serie de datos original sin modificaciones.

Descomposiciones de las series de tiempo: La descomposición en serie es conveniente porque elimina los factores de ruido que no muestran tendencias.

Diagramas de caja y bigotes: Se puede obtener un resumen de información de este tipo de gráfico para proporcionar información sobre la existencia de tendencia central, la variabilidad, simetría y valores atípicos.

Histogramas y gráficos de distribución específica: La función principal de un histograma es poder determinar si una serie de datos sigue una distribución particular de fragmentos. Específicamente para estos histogramas la distribución más importante que se debe considerar es la normal, esta es para definir los tipos de controles que se pueden aplicar a la serie. Esto indica si es una prueba paramétrica o debe ser una prueba no paramétrica, debido a esto los gráficos p-p y q-q se usa para verificar si la serie de datos coincide con la distribución normal.

Gráfica de los residuos de la descomposición modal empírica (EMD): Como se muestra a menudo en el marco teórico, la descomposición de una serie de tiempo en una única función modal produce una serie de residuos. Esto se puede representar gráficamente para dar otra idea de la existencia de tendencias y suposiciones estacionarias.

- c) **Análisis estadístico confirmatorio:** Este análisis gráfico proporciona una muy buena estimación del comportamiento de los datos y le ayuda a comprender las características importantes de los datos. Por lo tanto, el análisis confirmatorio debe realizarse con el propósito de confirmar estadísticamente la presencia o ausencia de alguna característica que pueda entenderse visualmente mediante un análisis gráfico preliminar. Como se sabe, existen pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas. En su mayoría las pruebas paramétricas asumen que los datos tienen una distribución normal y son sensibles a las cantidades de datos, a las desviaciones y pueden presenciar valores atípicos.

Las pruebas no paramétricas, por otro lado, no tienen que asumir la normalidad u otras distribuciones específicas y, en algunos casos, son insensibles a la presencia de valores atípicos. Por lo tanto, antes de ejecutar la prueba, debe asegurarse de que el conjunto de datos se distribuya normalmente.

- d) **Evaluación de los resultados obtenidos:** En este paso, se procede a agrupar los resultados de acuerdo a cada serie de tiempo de manera individual. Se registran resultados significativos en las pruebas de autocorrelación, tendencia, uniformidad y regresión lineal. También se pueden registrar cantidades tales como tendencias y regresión lineal, y también se puede registrar la duración de la prueba de uniformidad. Sin embargo, desde un punto de vista interpretativo, se pueden subrayar algunos puntos. En primer lugar, si la serie analizada muestra una tendencia significativa y además presenta un grave problema de heterogeneidad, se clasifica como una serie que no se adhiere a los supuestos de estacionalidad.

Por otro lado, si una serie muestra una tendencia significativa pero consistente a lo largo del tiempo, se clasifica como una serie potencialmente fluctuante debido a la tendencia. De manera similar, si la serie no muestra una tendencia significativa pero no uniforme en el tiempo, puede ser una serie estacionaria porque las estadísticas de los parámetros muestran un cambio significativo en el tiempo. Finalmente, si la serie no muestra una tendencia significativa y

uniforme en el tiempo, se clasifica como una serie que cumple con el supuesto de estacionalidad.

Además del análisis principal propuesto en el párrafo anterior, se pueden proponer otros enfoques igualmente interesantes para evaluar los resultados obtenidos. Por lo tanto, el tiempo (fecha) sería uno de los parámetros de interés a analizar en la que la variación de las características estadísticas hace heterogénea la serie temporal. Al realizar la comparación de este resultado con todas las series evaluadas, puede ver cuándo comenzaron los cambios y analizar qué sucedió antes y después de esa fecha. Se considera otro punto importante, la comparación de los resultados de las mismas variables en la misma serie, pero a diferentes niveles de agregación (29).

2.2.1.31. Métodos para determinar variabilidad climática interanual

Para poder determinar la variabilidad del clima, los expertos en estos estudios utilizan el promedio de aproximadamente tres décadas de las variables analizadas, llamado promedio, clima o referencia climática. Por lo tanto, puede comparar climas normales para ver cambios de la media a fin de ver eventos extremos y cambios durante un período de tiempo particular.

Desde otra perspectiva, el IPCC dijo: El concepto de cambio climático se refiere a cambios en las condiciones climáticas que se pueden determinar (por ejemplo, mediante el análisis del cambio climático, análisis estadístico), debido a cambios de sus propiedades, dura mucho tiempo y, a menudo, se mide durante décadas o más. Indica el cambio climático a lo largo del tiempo debido a la actividad natural o humana (1).

2.2.2. Metodologías existentes

2.2.2.1. Superficie, observaciones satelitales, estaciones - OMM

Las estaciones meteorológicas pertenecientes a la red nacional deben estar equipadas con equipos estándar aprobados. Sin embargo, si las herramientas son proporcionadas por otras organizaciones o adquiridas por observadores, la Unidad de Clima debe hacer todo lo posible para asegurar el cumplimiento de la normativa vigente.

En la Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos se podrá encontrar un inventario exhaustivo de instrumentos y equipos que son idóneos para realizar mediciones sobre el clima y otros parámetros en estaciones tanto terrestres como marinas. Al momento de escoger los instrumentos, en cualquier sistema de

proceso de data y transmisión conexos, se deben aplicar diez principios de monitoreo del clima al elegir herramientas, especialmente los sistemas de transmisión y procesamiento de datos relevantes. Para respetar estos principios, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Fiabilidad
- Exactitud
- La idoneidad para el entorno donde se va operar la estación
- La simplicidad del diseño
- Los motivos para la realización de observaciones.

Es muy importante que el equipo funcione de manera confiable de acuerdo con los requisitos de diseño. Los dispositivos que no cumplen con estos requisitos pueden generar inconsistencias en los datos. Estos instrumentos deben ser resistentes a los fenómenos físicos y meteorológicos extremos que puedan ocurrir en el campo, y posiblemente al manejo específico de observaciones manuales. Además, el equipo debe ser adecuado para el clima en el que está expuesto y debe resistir las heladas si se encuentra en un lugar frío, pero si el instrumento se encuentra en un lugar desértico deberá ser cubierta para evitar que ingrese el polvo, también los equipos deben estar adecuadamente ubicados para su acceso y mantenimiento respectivo (19).

Idealmente, toda la selección del equipo debe realizarse con el objetivo de lograr el alto nivel de precisión y exactitud requeridos con fines climáticos. Otro punto importante es que el equipo pueda seguir proporcionando el nivel requerido de precisión durante períodos de tiempo prolongados, ya que la inexactitud del instrumento puede provocar una falta de homogeneidad grave en los registros climáticos. Si los datos no son fiables limita la utilidad de la precisión (19).

A. Equipo de superficie básico

Para recopilar data meteorológica de estaciones terrestres, se cuenta con varias opciones, que se pueden equipar en una estación, con instrumentos base, con mecanismos de salida autográfica o de sensores automáticos. Al considerar estos equipos, se debe tener en cuenta la consideración de los costos de mano de obra, mantenimiento y de ser necesario el reemplazo.

De preferencia el personal podría ser una persona del lugar, debidamente capacitada, ya que la supervisión debe ser regular, para estar al tanto de las condiciones de la superficie, ya que se puede dar el crecimiento de la hierba,

deberá realizar el mantenimiento básico del equipo, inspeccionar daños y detectar brechas de seguridad, por lo que es deseable ser un local bien capacitado. Estas actividades deben realizarse al menos una vez a la semana en una estación terrestre accesible y con personal.

El equipo autográfico de datos tiene la finalidad de registrar varios parámetros del clima, como es la temperatura, el viento, la humedad, y la lluvia. Una vez obtenido los datos de los registros autográficos se deben transferir a tablas o a un formato digital. El personal encargado deberá garantizar que el funcionamiento del equipo sea adecuado y que la información registrada sea clara e inconfundible. También deberán corroborar y analizar cada cierto periodo de tiempo los datos que fueron registrados, corroborando con equipos de lectura directa. Los datos registrados en este equipo pueden servir para completar aquellos campos vacíos en caso las medidas directas no se lleguen a realizar por motivos de salud de los responsables o por otros motivos por los que se tengan que ausentar de la estación de observación (19).

B. Teledetección en superficie

Los sensores activos y pasivos se pueden utilizar para la teledetección. El sistema de detección activa emite diferentes formas de radiación que son dispersadas por diferentes objetivos. El sensor detecta la retrodispersión. La tecnología de teledetección de superficie activa más común es el uso de radares meteorológicos. El sistema de antena dirige un pulso corto de energía de microondas muy fuerte sobre un haz estrecho.

La ubicación de donde se está dando la precipitación se puede determinar a través del acimut, la altitud de la antena y el tiempo que transcurrió cuando se transmitió y se recibió la energía reflejada.

La recepción de la energía de la radiación es de acuerdo a las características de la lluvia, lo que hace posible procesar la señal para calcular la intensidad. Los datos obtenidos por radar deben procesarse con cautela debido a que las condiciones atmosféricas y del medio ambiente pueden afectar negativamente dicha data (19).

C. Teledetección por aeronaves y satélite

Muchas aeronaves que realizan vuelos de largas distancias cuentan con sistemas que registran automática y periódicamente los datos de temperatura y del viento, algunas de estas aeronaves también registran datos de humedad. Algunas de ellas registran y envían notificaciones de las observaciones durante el despegue

y aterrizaje para aumentar considerablemente los datos que se obtuvieron a través de radiosondas convencionales, al menos en la troposfera. Estos datos se integrarán en los sistemas operativos de análisis meteorológico y contribuirán significativamente a la expansión del registro climático a través de programas de reanálisis. El sistema de transmisión de datos meteorológicos de la aeronave funciona en una aeronave equipada con un sistema de navegación y seguimiento. Tiene sensores que miden velocidad, temperatura y presión y todos los datos recaudados son posteriormente transmitidos a tierra (19).

D. Calibración de instrumentos

La clave para determinar la variación espacial y temporal del clima es medir y verificar la precisión relativa de los diferentes sensores utilizados en una red, ya que llegado un determinado momento estos se midan y verifiquen periódicamente, con el propósito de que los sensores cumplan con el rendimiento deseado. El Manual del Sistema Mundial de Observación indica los instrumentos de cada una de las estaciones deberán contar con la debida calibración.

No es suficiente considerar la calibración del fabricante y es un error asumir que la calibración no cambia o no cambiara con el transcurso del tiempo. Las mediciones obtenidas de equipos o sistemas que utilizan herramientas manuales estándar deben compararse al cambiar las herramientas en la estación y durante cada inspección periódica de la estación. Las mediciones que se obtienen de los instrumentos deben ser comparados con equipos patrón portátiles, ya sea cuando estos instrumentos sean reemplazados y también en cada inspección periódica de la estación. Los registros de cambios de equipo y calibración son esenciales para la evaluación del cambio climático real y deben conservarse y referenciarse como metadatos (19).

El plan con el que cuenta el Sistema Mundial de Intercalibración Espacial tiene por finalidad comparar las radiancias que se midieron simultáneamente por pares de satélites; por lo tanto, con esta intercalibración nos va proporcionar registros de datos adecuados a nivel global.

2.2.2.2. Emplazamiento de las estaciones Climatológicas - OMM

En el Manual del Sistema Mundial de Observación, parte III, podemos encontrar los requisitos de exposición específicos de los equipos utilizados en las estaciones meteorológicas para maximizar la precisión de las mediciones de los instrumentos. La representatividad y uniformidad de los registros climáticos están estrechamente relacionadas con la ubicación del observatorio. Las estaciones o cerca de

pendientes, crestas, acantilados, cañones, edificios, muros u otros obstáculos pueden proporcionar datos que son más representativos del sitio en sí que las áreas más grandes. Las estaciones climatológicas deberán estar situadas donde permita que el equipo exponga adecuadamente y proporcione un campo de visión más amplia del cielo y sus alrededores.

Las principales estaciones climatológicas ordinarias deben estar situadas en un área de terreno plano que tenga césped corto; alrededor del área a una distancia considerablemente alejada no debe haber ni construcciones ni árboles que obstaculicen la toma de datos, tampoco deberá estar cerca a pendientes pronunciadas. En una parcela con medidas de 9 metros por 6 metros es adecuada para los situar los instrumentos que miden la temperatura y humedad, en una área de 2 metros por 2 metros de suelo descubierto dentro del área resulta adecuado para las observaciones que se deben realizar tanto del estado del suelo y su temperatura. Si en la estación además de un pluviómetro se van a instalar otros sensores, es recomendable que la parcela sea un poco más amplia, de unos 10 metros por 7 metros.

Se debe resaltar que a las estaciones se prohíbe el ingreso a personas no autorizadas. Por lo tanto, se considera necesario cercar el área, pero teniendo en cuenta que este cerco no debe perjudicar la exposición del emplazamiento. En cuanto a las estaciones automáticas se deberá tener mayor consideración al momento de evaluar la seguridad e impedir el ingreso de animales o personas no competentes; las estaciones automáticas requieren un equipo que suministre energía adecuadamente, considerando que puedan necesitar el cuidado y protección ante las crecidas de hierbas, los vientos de arena, entre otros.

Las grandes estaciones climáticas tradicionales deben estar ubicadas en dichos lugares y deben cumplir con las condiciones de control que permitan que las estaciones operen continuamente sin cambiar su exposición durante al menos 10 años. En el caso de las estaciones que tienen el propósito de medir y registrar el cambio climático a largo plazo, como las estaciones climáticas estándar y otras estaciones base, la exposición y el rendimiento deben ser constantes durante décadas. Las posiciones y el equipo del observatorio deben mantenerse adecuadamente para que la calidad y veracidad de las observaciones no se deteriore significativamente entre las inspecciones de las mismas.

Se debe tener en cuenta las recomendaciones y restricciones para que no se produzcan cambios de importancia significativa en el uso de las tierras ubicadas a

menos de 50 kilómetros de la estación y también tener en cuenta la ausencia de la contaminación de la zona y a nivel regional que pueda ser provocada por los principales lugares de población, como sus actividades industriales, las autopistas, incendios forestales o agricultura extensiva, y en algunos lugares la actividad volcánica.

Es importante comprender del porque se realizan las observaciones, cual es la finalidad de obtener mediciones y que estas deben ser representativas de la zona, esto es de vital importancia para la orientación sobre los cambios del clima. En varios lugares será posible ajustarse a las prácticas habituales, pero en algunas ocasiones quizá se deba ser un poco más flexible en cuanto al emplazamiento de las estaciones y sus instrumentos. Es importante mantener metadatos que describan con exactitud el marco en el que se sitúan la estación y sus instrumentos (19).

2.2.2.3. Análisis de datos hidrológicos y meteorológicos SENAMHI

Para poder realizar estos análisis es necesario recurrir a los portales brindados por el SENAMHI, para obtener los datos y posteriormente analizarlos, en los cuales se puede verificar que en un determinado tiempo de registro se encuentran datos vacíos o que no fueron registrados.

2.2.2.4. Protocolo para la instalación y operación de estaciones meteorológicas – SENAMHI

A. Ubicación de las estaciones

Para evaluar la ubicación de las estaciones meteorológicas, se debe tener en cuenta un lugar donde los datos registrados de las variables representen las condiciones atmosféricas propias del lugar. Se debe evitar colocar la estación en lugares donde haya obstáculos alrededor de la misma, ya que estas pueden afectar la toma de datos de los parámetros.

B. Estaciones climatológicas

Deben colocarse donde los datos recopilados caractericen el clima y en condiciones que garanticen el funcionamiento continuo. El área seleccionada debe garantizar la operación a largo plazo para obtener registros continuos. Es importante evitar la instalación en áreas donde se planea la expansión urbana, ya que la construcción de nuevos edificios puede cambiar las condiciones climáticas inicialmente seleccionadas.

Como área mínima las estaciones climáticas deberán tener: 10 m x 15 m las estaciones climatológicas principales y de las estaciones climatológicas ordinarias mínimo de 8 m x 10 m.

C. Instalación de las estaciones

Se debe solicitar la asesoría técnica del SENAMHI, para que se dé el cumplimiento de todos los requisitos señalados según el protocolo. Las Estaciones por seguridad deberán contar con cerco de protección.

D. Codificación y denominación

Las estaciones deberán ser georreferenciadas y contar con un código, cuya denominación deberá estar asociada al lugar donde se ubica.

E. Inspección técnica

De acuerdo con las especificaciones de la Organización Meteorológica Mundial, los observadores se someterán a una evaluación periódica por personal capacitado y calificado para asegurar la calidad de las lecturas de los equipos y el buen funcionamiento de los mismos.

F. Instrumentos para estaciones convencionales de superficie

- Anemómetro
- Termómetro de máxima y mínima del aire
- Psicrómetro
- Barómetro
- Micro barógrafo
- Pluviómetro o pluviógrafo
- Tanque de evaporación
- Heliógrafo
- Piranómetro
- Tres (03) juegos de Geotermómetros (5, 10, 20, 50 y 100 cm)

Las distribuciones de los instrumentos deberán ser de acuerdo a las especificaciones del SENAMHI.

G. Medición de las variables de observación

- Temperatura del aire

Se mide con un termómetro de mercurio, los cuales tienen una lectura con una escala de división mínima de 0.1 °C, deberá tener su calibración actualizada y vigente ya sea de fábrica o emitido por el laboratorio del SENAMHI, donde debe indicar los patrones de referencia con los que fue calibrado, sus correcciones e incertidumbres de calibración.

Las estaciones de acuerdo a la OMM, la caseta meteorológica va instalada a una altura en la que los bulbos de los termómetros estén a 1,60 m sobre el nivel del suelo.

- Precipitación

Se realiza las mediciones con pluviómetros y pluviógrafos. Los pluviómetros deben estar instalados en un lugar donde este reducido al más mínimo los efectos del viento en la evaporación y de salpicaduras de la lluvia.

A la altura de 1,20 metros del nivel del suelo se deberá situar la boca del pluviómetro, a su alrededor no deberá situarse ningún objeto esta distancia no debe ser menor a cuatro veces la altura sobre de la boca del pluviómetro.

Si la cantidad de lluvia es de hasta 10 mm se debe tomar la medida con una exactitud de 0,2 mm y en lo posible con una exactitud de 0,1 mm. Las mediciones diarias deben efectuarse en horas fijas.

H. Documentación de las estaciones convencionales

- Ficha técnica: Documento que en forma reducida contiene la descripción de las características técnicas y del entorno de la estación meteorológica.
- Bitácora o cuaderno de anotaciones: Se toma nota en forma sistemática sobre el estado de la operación y mantenimiento de la estación meteorológica. Debe incluir la ficha técnica actualizada tomando en cuenta la valorización y depreciación del equipamiento.
- Certificados de calibración: Calibración de los sensores e instrumentos realizados por laboratorios acreditados en los usos y practicas operacionales de instrumentos.

Se sugiere que la certificación está basada en los procedimientos ISO 17025, los certificados de homologación son necesarios para el uso de determinados equipos electrónicos.

- Manuales de operación y mantenimiento: Contiene la descripción de los equipos, el procedimiento para su instalación y uso adecuado, descripción de las fallas que se podrían detectar realizando una inspección visual.

Los manuales contienen la descripción técnica de cada equipo y los sensores, el cableado entre estos, una guía de diagnóstico y corrección en caso de fallos.

Se incluyen instrucciones de la instalación y uso del software, descarga de datos y parámetros necesarios, brindan acceso a los archivos registrados y herramientas de configuración del sistema.

- Cuaderno de visitas: Se registran las visitas que se efectúen a la estación, las visitas técnicas deben quedar registradas y de preferencia con los correspondientes comentarios.
- Planillas o archivos de datos: Son los medios donde contienen los datos y registros hidrometeorológicos obtenidos de una estación, se encuentran en forma organizada para poder incorporar al Banco Nacional de Datos (30).

2.2.3. Diseño de modelo teórico conceptual

Programas: octave, matlab, minitab.

2.3. Definición de términos básicos

Extraído del IPCC, Cambio Climático Bases Físicas 2013

- Cambio climático

Se define como la variación del clima en sus estados que se pueden identificar mediante evaluaciones estadísticas, también en la variabilidad de sus propiedades, que pueden persistir a lo largo de periodos de tiempo, comúnmente decenios e incluso periodos más largos (1).

- Clima

El clima es una descripción estadística del tiempo atmosférico, también se puede definir restringidamente como un estado promedio del tiempo, y su variabilidad de magnitudes que se pueden dar o acontecer durante periodos largos de tiempo, se pueden extender hasta millares o millones de años (1).

- El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)

Se le denominaba “El Niño” ya que inicialmente daba referencia a la corriente de aguas cálidas que discurre periódicamente a lo largo de las costas de Ecuador y Perú, lo que

provocaba una alteración en la pesquería de la zona. A la fecha estas aguas cálidas se encuentran en toda la cuenca del Océano Pacífico tropical (1).

- **Emisión de combustibles fósiles**

La emisión de gases como el dióxido de carbono y otros gases traza, así como también los aerosoles, los gases producidos por la combustión de combustibles que provienen del petróleo, gas, carbón y de los depósitos de carbono (1).

- **Gas de efecto invernadero (GEI)**

Gas natural o antropógeno que se acumulan en la atmósfera terrestre, que son capaces de absorber y emitir radiación en ciertas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Como gases primarios tenemos el vapor de agua (H_2O), el óxido nitroso (N_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y por último el ozono (O_3). Los gases netamente emitidos por actividades realizadas por las actividades humanas que son los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, también se encuentran en la atmósfera y se mencionan en el Protocolo de Montreal. El problema de los gases de efecto invernadero surge cuando su concentración aumenta, lo que ocasiona un aumento o elevación de la temperatura media global (1).

- **Emisión de dióxido de carbono-equivalente**

Es la medida universal que se utiliza para indicar en términos de CO_2 , el potencial que tiene cada uno de los gases de efecto invernadero para generar el calentamiento global, todo ello en un cierto plazo de tiempo. Esta medida se utiliza para poder analizar los daños e impactos que ocasionan los diferentes gases, pero también tiene el propósito de evitar la emisión de los mismos (1).

- **Sistema climático**

El sistema climático es de gran amplitud y está conformado por cinco componentes: atmósfera, biósfera, hidrósfera, litósfera y criósfera, y también de la interacción entre ellos (1).

Extraído del Glosario Meteorológico – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) 2019

- **Estación climática**

Es un tiempo largo determinado que da características a una parte del año, se da mayormente en latitudes bajas, durante el cual ocurre este tiempo con cierta regularidad (31).

- **Estación climatológica.**

Estación que brinda datos del clima y está situada en la superficie con elementos específicos, con fines climatológicos. Tiene el objetivo de explicar o describir el clima de una región mediante datos meteorológicos de una determinada calidad y duración. Dependiendo del propósito que se establezca, las estaciones serán de dos tipos: Principales y Ordinarias.

- **Estación climatológica principal**

Cuya estación tiene la finalidad de realizar lecturas diarias, en horarios ya establecidos, de por lo menos tres veces al día, además también cuentan con datos que son registrados con sensores automáticos.

En este tipo de estación climatológica se realizan registros y mediciones de precipitación, temperaturas mínimas y máximas a 2 metros, temperatura del aire, radiación, viento, humedad, brillo solar, evaporación, cantidad de nubes, temperaturas extremas medidas en el tanque de evaporación.

La mayoría de los parámetros mencionados anteriormente se obtienen de equipos registradores.

- **Estación climatológica automática**

Esta estación es llamada automática porque los datos meteorológicos que se obtienen son gracias a instrumentos y/o equipos que cuentan con registradores automáticos, estos brindan datos en forma numérica.

- **Estación convencional**

Estación donde los datos se obtienen con apoyo de un personal capacitado, quien es el encargado de registrar los datos en un cuaderno de campo para posteriormente enviarla a los técnicos quienes capturan y procesan estos datos (IDEAM).

- **Estaciones meteorológicas**

Es el lugar donde se realizan los registros de datos, se toman registros puntuales de los distintos parámetros del clima, con los instrumentos y equipos adecuados, y tienen la finalidad de identificar el comportamiento de la atmósfera propio de los diferentes lugares de un territorio determinado (IDEAM).

- **Estación pluviométrica**

Es la estación que tiene el objeto de medir las precipitaciones.

Estación meteorológica específica para tomar registros de la precipitación, donde también se puede tomar registros del suelo nevado. Esta estación cuenta con un pluviómetro que mide la cantidad de agua de lluvia captada entre dos mediciones consecutivas.

- **Estación pluviográfica**

La estación pluviográfica registra los datos de precipitación de manera continua y mecánica, en un gráfico donde nos da a conocer el tiempo o duración, la cantidad, intensidad y periodo en que ha ocurrido la lluvia. A la actualidad estos equipos son de registros diarios.

- **Meteorología**

Estudia la atmósfera y sus fenómenos. Principalmente el estudio de las condiciones del tiempo y del clima, así como las aplicaciones prácticas de este estudio. Esta ciencia abarca varios de los efectos más importantes de la atmosfera sobre el planeta, lo que incluye los océanos y la vida en sí (IDEAM).

- **Observación climatológica**

Es la evaluación que se realiza a uno o más elementos climáticos.

- **Observación satelital**

Son los datos que se registran con el uso de instrumentos que se encuentran en un satélite.

- **Observación sinóptica**

Es la evaluación que se realiza en la superficie o a cierta altura, a una hora normalizada.

- **Observatorio meteorológico**

Es un establecimiento científico que tiene la finalidad de realizar observaciones meteorológicas, están son detalladas y precisas, también tienen el propósito de analizar y evaluar los fenómenos atmosféricos con equipos especiales con las que cuenta específicamente este observatorio a diferencia de las otras estaciones meteorológicas.

- **Organización Meteorológica Mundial- OMM**

Organización especializada que pertenece a las Naciones Unidas, con el objeto de coordinar, uniformar y mejorar continuamente las observaciones meteorológicas a nivel mundial, así mismo promover un intercambio de comunicaciones adecuado, entre países para intereses en común.

- **Pluviógrafo**

Es un instrumento utilizado meteorológicamente para el estudio de las precipitaciones y su análisis, el funcionamiento de este equipo está relacionado con el pluviómetro.

- **Pluviometría**

Estudia la precipitación, identificando su naturaleza, su distribución y las metodologías para su medición.

- **Pluviómetro**

Es el instrumento que se usa para medir la cantidad de precipitación en sus distintas formas (lluvia, nieve, granizo, etc.) que cae en un determinado lugar y tiempo, este equipo cuenta con una superficie impermeable que evita la evaporación (IDEAM).

- **Precipitación**

Es agua líquida o sólida que se forma en las nubes, pasa por la atmósfera y que regresa a la superficie en distintas formas, como lluvia, nieve, granizo, etc. El volumen de lluvia es la cantidad de precipitación que se da en un determinado tiempo (IDEAM).

- **Predicción climatológica**

Es el pronóstico basado en el clima de un lugar determinado, considerando los datos ya registrados anteriormente.

- **Red climatológica**

Está compuesta por las estaciones meteorológicas en las cuales se observan las diferentes variables dentro de ellas la precipitación, la temperatura, el viento su dirección y velocidad, la humedad del aire, el brillo solar, y la evaporación, teniendo por objetivo registrar los datos para un seguimiento y estudio del clima. Los datos que se registran son tomados tres veces al día y en algunas estaciones son continuamente registradas.

- **Red de estaciones climatológicas**

Son las estaciones en conjunto donde se realizan las observaciones, que tienen por finalidad estudiar el clima según los datos meteorológicos registrados.

- **Red meteorológica**

También llamado red de observación, ya que son un conjunto de estaciones meteorológicas ubicadas en una determinada región con una finalidad específica.

Estas estaciones, están distribuidas estratégicamente, en las que se obtienen registros de los distintos fenómenos y parámetros atmosféricos que son importantes para determinar el clima de una región en un tiempo específico, para posteriormente aplicar en distintos objetivos a beneficio de la población. (IDEAM)

- **Instituto meteorológico**

- 1) Es el organismo nacional o regional, donde se realizan actividades técnicas, científicas y administrativas, tanto práctica como teóricamente para estudios de meteorología.
- 2) En estas instalaciones meteorológicas, se puede obtener alertas sobre condiciones peligrosas, según los registros y concentración obtenidos de los variables meteorológicas.

- **Temperatura**

Es el nivel o grado térmico de un cuerpo físico, medida con un termómetro.

- **Temperatura acumulada**

En un tiempo determinado se tienen una temperatura de referencia, la temperatura acumulada es la suma de sus desviaciones (por ejemplo, media cotidiana o mensual).

También se puede calcular por el número total de días y en ocasiones horas, a partir de una fecha establecida, cuando la temperatura fue más elevada a un valor considerado normal.

- **Temperatura ambiente**

Es la temperatura del aire de un ambiente actual.

- **Temperatura del aire**

Se puede definir como la medida del estado térmico comparado con su habilidad de transmitir calor a lo que rodea.

Se obtiene con la medición de un termómetro que está expuesto al aire, este debe estar debidamente cubierto para que la radiación del sol no le dé directamente.

- **Temperatura del bulbo húmedo**

Lectura de la temperatura que se mide con un termómetro que tiene contacto directo con el aire que contiene un depósito húmedo y no está expuesto a la radiación directa del sol.

- **Temperatura del bulbo seco**

Lectura de la temperatura que se mide con un termómetro que tiene contacto directo con el aire y este contiene un bulbo seco, se encuentra protegido de la radiación directa del sol.

- **Temperatura estandarizada**

Son las temperaturas de referencia elegidas arbitrariamente; se tienen como referencia al punto de congelación del agua con 273 K (0°C) y 15°C como calor específico.

- **Temperatura extrema**

Es la temperatura mayor y menor que fue detectada en un intervalo de tiempo específico.

- **Temperatura máxima**

Es el valor de temperatura más elevada que se registró en un intervalo de tiempo determinado, la cual fue registrada en una estación.

- **Temperatura máxima diaria**

Es la temperatura en su punto máximo registrada en veinticuatro horas consecutivas.

- **Temperatura máxima diaria media en un mes**

Es el cálculo de la media de las temperaturas máximas que se registraron diariamente en las observaciones de un mes en específico en un año o en una cantidad de años determinados.

- **Temperatura máxima media mensual**

Es el cálculo de la media de las temperaturas máximas que se observaron durante un mes en específico en una cantidad de años determinados.

- **Temperatura media diaria**

Es el cálculo de la media de las temperaturas que fueron registradas en 24 momentos equidistantes en el transcurso de 24 horas consecutivas, esto se da normalmente en el día solar media de medianoche a medianoche. Por lo tanto, representa al promedio aritmético de los valores que se registraron en el termómetro seco a las 07:00 horas, 13:00 horas y 18:00 ó 19:00 horas en una estación meteorológica.

- **Temperatura mínima**

Se define como la temperatura más baja que se llegó alcanzar en un intervalo de tiempo determinado, puede ser la temperatura mínima diaria o la temperatura mínima que se llegó a observar en 24 horas consecutivas.

- **Temperatura mínima diaria media en un mes**

Es el cálculo de la media de las temperaturas mínimas que se registraron diariamente en las observaciones de un mes específico en un año o una cantidad de años.

- **Temperatura mínima mensual**

Es el cálculo de la media de las temperaturas mínimas, que se registraron durante un mes en una determinada cantidad de años.

- **Termómetro de máxima**

Es el termómetro que permite medir máxima temperatura alcanzada y registrada durante un intervalo de tiempo establecido. Este es un termómetro común que contiene mercurio en un tubo de vidrio con un estrangulamiento próximo del bulbo, con el objeto de que cuando la temperatura baja, la columna no tiene la suficiente fuerza para pasar el estrangulamiento y su extremo libre queda en la posición más avanzada que haya ocupado durante el período, es de esa manera que marca el valor de la temperatura más alta que se haya dado durante la medición.

- **Termómetro de mercurio**

Es el termómetro que en su contenido tiene mercurio, su punto de congelación es $-38,8^{\circ}\text{C}$.

- **Termómetro de mínima**

Es el termómetro que permite medir la menor temperatura registrada durante un tiempo establecido. Este termómetro tiene como elemento sensible el alcohol y en su interior del tubo capilar lleva un índice de vidrio, de color oscuro, de aproximadamente dos centímetros de longitud que está sumergido en alcohol. El termómetro de mínima se instala dentro la caseta, sobre un soporte para que este ligeramente inclinado, con el depósito hacia abajo. La forma en que funciona es de la siguiente manera, cuando la temperatura desciende, el alcohol se contrae y el índice se dirige al depósito del instrumento y cuando la temperatura sube, la columna de alcohol se alarga, pero el índice permanece donde estaba, de esta manera señala cuál ha sido la temperatura menor que se ha logrado registrar.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método y alcance de la investigación

3.1.1 Método de investigación

3.1.1.1 Método general o teórico de investigación

A) Método hipotético-deductivo

Implica generar hipótesis a partir de dos premisas, una universal y otra empírica, para llevarla a la contrastación empírica. El objetivo es comprender el fenómeno y explicar su origen y causa.

Otro propósito es predecir y controlar, por lo que es una de los métodos más importantes respaldadas por la ley y la teoría científicas. Adicionalmente, en el modelo hipotético-deductivo se parte de una premisa general y llega a una conclusión concreta, que sería la hipótesis a falsar para contrastar su veracidad, en caso de que lo fuera no solo daría el paso al incremento de la teoría de la que se inició, sino también el planteamiento de soluciones a problemas teóricos o prácticos, y en tanto que no, bien podría dar pie para su reformulación hasta acabar con los intentos para hacerla veraz, o en última instancia dejar de lado y replantear en base a otros preceptos teóricos que señalen una orientación distinta a la que ya se había tomado en cuenta anteriormente (32).

B) Método analítico

Se usa con la finalidad de estudiar un fenómeno, es clasificado como un modelo de investigación científica.

El método analítico cuenta con un procedimiento genérico que combina el método científico, el pensamiento crítico, un proceso formal y la evaluación de los hechos

con la finalidad de encontrar soluciones ante cualquier planteamiento de problema.

Este método es característico por descomponer en sus distintas partes al objeto de estudio, con la finalidad de facilitar su investigación y mejorar el entendimiento a profundidad de los elementos por los que está conformado. Teniendo el propósito de enlazar todos los elementos, para luego determinar su relación e influencia dentro del problema.

Es gracias a este procedimiento de utilidad que se posibilita dar explicaciones a fenómenos, así como saber su naturaleza, determinar la relación que tiene un elemento con otro en el interior de un problema, y posteriormente formular leyes que den explicación a estos fenómenos.

Este método es de gran importancia para la ciencia y también para la sociedad ya que es considerado como uno de los mejores inventos realizados por el hombre. Antes cuando no se contaba con este procedimiento, muchas creencias de la medicina o la ciencia que no eran verídicas, se tomaban como si fueran verdad, ya que no se contaba con este método para poder validarlas (33).

3.1.1.2 Método específico de la investigación

La investigación constará de 3 partes que se dividirá en: Trabajo de campo, Trabajo de Gabinete y trabajo de análisis.

A. Visita técnica: Se coordinó con el Blgo. Guillermo Gutiérrez encargado supervisor del SENAMHI de la región de Arequipa, quien brindó las facilidades para poder acceder a las estaciones de La Pampilla y Pampa Blanca.

- **Estación La Pampilla:** Se realizó la visita técnica el día 06 de julio del 2021 a primeras horas de la mañana.

La estación ubicada en las instalaciones de la UNSA en el área de Biomédicas, en la Avenida Daniel Alcides Carrión 501 –A, en el departamento de Arequipa, provincia de Arequipa, distrito de Arequipa, con coordenadas:

Tabla 2

Datos de la Estación Meteorológica – La Pampilla

Estación	Código Estación	Latitud	Longitud	Altitud msnm	Desde	Hasta	Rango Temporal (años)
La Pampilla	116017	16°24'49.83"	71°32'4.74"	2,324.2	1965	2021	56

Fuente: Elaboración propia.

Una vez en las instalaciones se procedió a observar los equipos de la estación meteorológica, con la guía del Biólogo Guillermo Gutiérrez.

Esta estación meteorológica es de 25 m. de largo * 15 m. de ancho, cuenta con una estación convencional y una estación automática, ya que la estación de La Pampilla es la principal de la región Arequipa, la cual está instalada desde el año 1934.

Según lo conversado con el personal encargado nos indicó que se recolectan los datos de temperatura a las 7:00, 13:00 y 19:00 horas, todos los días, y los datos de precipitación a las 7:00 y 19:00 horas todos los días, los meses donde hay presencia de lluvias son comúnmente entre diciembre y marzo.

El equipo que mide la temperatura se encuentra en una caseta de madera pintada de color blanco, ubicada de sur a norte, a una altura de 1.20 m, es un psicómetro de marca THERMO SCHNEIDER, donde se pudo observar el termómetro de máxima, mínima y termómetro de bulbo húmedo y seco.

Los equipos para la recolección de datos de precipitación son el pluviómetro y pluviógrafo, ubicados a una altura de 1.20 m con un área de captación de 200 cm².

La calibración de los equipos se realiza cada 6 meses para el adecuado funcionamiento, así como la veracidad de los datos.

Se pudo observar que en los alrededores hay edificaciones propias de la universidad y a la paralela se encuentra la avenida Daniel Alcides Carrión, donde transitan gran cantidad de carros durante el día y noche.

- **Estación Pampa Blanca:** Se realizó la visita técnica el día 20 de julio del 2021 a primeras horas de la mañana.

La estación ubicada en el departamento de Arequipa, provincia de Islay, distrito de Cocachacra, con coordenadas:

Tabla 3

Datos de la Estación Meteorológica – Pampa Blanca

Estación	Código Estación	Latitud	Longitud	Altitud msnm	Desde	Hasta	Rango Temporal (años)
Pampa Blanca	117005	17°4'17.79"	71°43'28.29"	108	1965	2021	56

Fuente: Elaboración propia.

Una vez en las instalaciones se procedió a observar los equipos de la estación meteorológica, con la guía de la señora Ley Concha Saldaña.

La estación meteorológica es de tipo convencional.

Según lo conversado con el personal encargado nos indicó que se recolectan los datos de temperatura a las 7:00, 13:00 y 19:00 horas, todos los días, y los datos de precipitación a las 7:00 y 19:00 horas todos los días, los meses donde hay presencia de lluvias son comúnmente entre diciembre y marzo.

El equipo que mide la temperatura se encuentra en una caseta de madera pintada de color blanco, a una altura de 1.20 m, es un psicómetro de marca *THERMO SCHNEIDER*, donde se pudo observar el termómetro de máxima, mínima y termómetro de bulbo húmedo y seco.

El equipo para la recolección de datos de precipitación es el pluviómetro, ubicado a una altura de 1.20 m con un área de captación de 200 cm².

La calibración de los equipos se realiza 1 vez al año.

Se pudo observar que al costado de la estación hay una casa de 2 pisos y al otro extremo hay áreas verdes, según lo conversado nos indicó que los datos podrían tener variaciones en temporada de crecimiento de la caña que llega alcanzar de 3 a 4 metros de altura durante los meses de enero y febrero.

B. Procesamiento de la información recopilada

Se procedió a descargar los datos del portal web del SENAMHI, de ambas estaciones y se pasó a ordenar en Excel los datos desde los años 1965 hasta la actualidad. Se completó manualmente los datos desde el año 2017 ya que la plantilla que se descargó no contaba con estos datos.

Se organizó la plantilla de Excel de la siguiente manera:

- En la primera hoja se encuentran en la columna G los datos de precipitación, en la columna H los de temperatura máxima y en la columna I los de temperatura mínima.
- En la segunda hoja se encuentra la sumatoria de la data de precipitación durante los 12 meses de cada año.
- En la tercera hoja se encuentran los promedios de temperatura máxima durante los 12 meses de cada año.
- En la cuarta hoja se colocaron los promedios de temperatura mínima durante los 12 meses de cada año.

- En la quinta hoja se colocó los datos que se tomaron diariamente de la precipitación, separados por los 12 meses de cada año.
- En la sexta y séptima hoja están los datos diarios de la temperatura máxima y mínima respectivamente, distribuidos mensualmente por cada año.

C. Análisis de series de tiempo para la temperatura media, máxima y mínima, además análisis de series de Fourier para la precipitación.

Para graficar los datos obtenidos se usó los siguientes softwares; Microsoft Excel para poder ordenar los datos de precipitación y temperatura de año en año.

También se utilizó el Software R está diseñado para proporcionar una interfase que puede calcular índices extremos del clima, y también puede establecer límites específicos o definidos, según el usuario requiera, sobre las lluvias y temperaturas, este es un programa basado en Microsoft Excel que es fácil de usar para monitorear y detectar el cambio climático.

El Software minitap es un programa de computadora diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas, que permite ingresar la data eficazmente y realizar una variedad de análisis de la misma. Se pudo elaborar gráficos y calcular la regresión con rapidez, además a ello el ingreso de data es bastante parecido a Excel.

3.1.2 Alcances de la investigación

3.1.2.1 Tipo de investigación

La investigación es aplicada porque se utilizó para determinar aquellos posibles usos de los resultados de la investigación básica, también tiene la finalidad de encontrar nuevas metodologías con el propósito de cumplir con los objetivos específicos ya establecidos.

Este tipo de investigación implica considerar y profundizar en todos los conocimientos existentes para tratar de resolver un problema en particular.

Los resultados que se obtienen de este tipo de investigación tienen el fin, en primer lugar, a un único producto o a un número limitado de productos o métodos. También nos da la posibilidad de poner en forma operativa las ideas. Los resultados o conocimientos que se obtienen de la investigación comúnmente se patentan, pero en algunos casos se mantienen en secreto (34).

3.1.2.2 Nivel de investigación

Correlacional descriptivo.

Investigación Descriptiva: El objetivo central es describir los fenómenos, eventos o situaciones que se den (35).

Investigación Correlacional: Tiene el propósito de conocer el comportamiento de una variable, tomando en cuenta el comportamiento de otra variable que esté relacionada (35).

3.2 Diseño de la Investigación

Investigación no experimental: Son aquellos estudios que se realizan sin manipular deliberadamente sus variables y donde los fenómenos que se dan son observados en su ambiente natural para posteriormente ser analizados.

En un estudio no experimental solo se observan las situaciones ya existentes, la persona que realiza la investigación no debe provocar ningún cambio intencionalmente en el lugar (36).

Diseños longitudinales: Son aquellos estudios que en diferentes puntos o periodos del tiempo recolectan datos, para realizar inferencias respecto al cambio, evolución, sus causas o determinantes, así como también sus efectos y consecuencias. Tales puntos o periodos por lo común se especifican de antemano.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

En el Perú, la Región de Arequipa cuenta con 28 estaciones meteorológicas que pone a disposición el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

3.3.2 Muestra

Tomamos como muestra dos estaciones de la región de Arequipa, las cuales serán La Pampilla y Pampa Blanca, se analizará la data de la temperatura mínima, temperatura media y temperatura máxima, así como también los datos de precipitación entre los años 1965 – 2020.

Se consideró las 2 estaciones mencionadas anteriormente por el motivo de que, al realizar la revisión en el portal web del SENAMHI de todas las estaciones en la región de Arequipa, se observó que la mayoría tenía solo datos de años recientes; sin embargo, las 2 estaciones que se eligieron contaban con los datos tanto de temperatura como de precipitación necesarios desde el año 1965 hasta la actualidad.

3.3.2.1 Estación Meteorológica – La Pampilla

Departamento: Arequipa

Provincia: Arequipa

Distrito: Arequipa

Coordenadas:

LAT.: 16°24'49.83"

LONG.: 71°32'4.74"

ALT.: 2,324.2 msnm



Figura 9. Ubicación Estación Meteorológica – La Pampilla

Fuente: Google Earth.

3.3.2.2 Estación Meteorológica – La Pampilla

Departamento: Arequipa

Provincia: Islay

Distrito: Cocachacra

Coordenadas:

LAT.: 17° 4' 17.79"

LONG.: 71° 43' 28.29"

ALT.: 108 msnm



Figura 10. Ubicación Estación Meteorológica – Pampa Blanca

Fuentes: Google Earth.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos

En el siguiente cuadro podremos ver las características principales de algunos instrumentos meteorológicos, así como la hora de lectura de los mismos.

Tabla 4

Características de instrumentos meteorológicos

Nombre	Elemento Sensible	Horas de Lectura
Termómetros ambientales	Mercurio o alcohol	Horas sinópticas
Termómetro de máxima	Mercurio	19 horas
Termómetro de mínima	Alcohol	7 horas
Barómetros	Mercurio, cápsulas aneroides	Horas sinópticas
Micro barógrafo y Barógrafo	Cápsulas aneroides	Registro horario
Termógrafo	Láminas bimetálicas	Registro horario
Hidrógrafo	Haz de cabellos	Registro horario
Heliógrafo	Lentes esférico compacto	Registro horario
Pluviómetro		7 y 19 horas
Pluviógrafo		Registro horario

Fuente: Elaboración propia en base a las Estaciones Meteorológicas – Jacinto Arroyo.

3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos



Figura 11. Instrumentos para la medición de datos en las estaciones meteorológicas
Fuente: Elaboración propia.

3.4.2.1 Temperatura

La escala de temperatura que se utiliza en meteorología es la escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$) donde se cuenta con dos puntos principales, uno es el punto de fusión del hielo que tiene 0°C y el otro es el punto de ebullición del agua que es de 100°C .

Para el intercambio de datos internacionalmente, la OMM ha determinado como lectura oficial los grados Celsius.

Instrumentos de lectura directa

Para obtener los datos de temperatura se utiliza el termómetro, este es a base de un tubo de vidrio sellado que lleva dentro comúnmente mercurio y/o alcohol, donde el volumen cambia de acuerdo a la temperatura que se dé. El cambio de temperatura se puede visualizar en una escala graduada que comúnmente está en grados Celsius.

Los termómetros más comunes son:

- Termómetro ordinario o de exposición
- Termómetro de Máxima
- Termómetro de Mínima
- Termómetro de suelo

A) Termómetro Ordinario (exposición)

El fin de este instrumento es medir la temperatura del aire, en su interior contiene Mercurio (Hg).

El bulbo está cubierto con un protector de vidrio cilíndrico esférico unido a un capilar cerrado en el otro extremo. De acuerdo a la temperatura, el mercurio ocupa una parte mayor o menor del bulbo y del capilar. El tubo con una bombilla se monta sobre una base que puede ser de metal o de cristal. En el interior del tubo protector se encuentra la escala, es allí donde se realiza la lectura de la temperatura, y su unidad de medida es en grados Celsius.

El mercurio se expande cuando la temperatura aumenta y cuando disminuye este se contrae, todo ello se puede visualizar en una escala graduada.

Se encuentra en posición vertical con el tubo en dirección hacia abajo gracias a un soporte.

B) Termómetro de Máxima

Mide la temperatura más elevada que se presenta en un día o en un tiempo establecido. Esto se puede observar dos o tres horas después del mediodía. El mercurio es su elemento sensible.

C) Termómetro de Mínima

El termómetro de mínima tiene la finalidad de medir la temperatura más baja que se presentó en un día o en un tiempo determinado. Esta temperatura se produce en las mañanas, en sus primeras horas, quiere decir poco después que sale el sol.

En las noches cuando hay ausencia de los rayos directos del sol, se da una disminución de calor por la irradiación de la superficie terrestre, lo cual ocasiona una baja considerable de la temperatura del suelo.

La temperatura mínima puede ser más alta en caso el cielo este cubierto de nubes, debido al efecto invernadero. Por lo contrario, si el cielo esta despejado, ocurren las nieblas debido al enfriamiento del suelo y del aire que es mayor.

Este termómetro contiene alcohol que permite el libre desplazamiento de un índice de porcelana, vidrio o marfil de unos dos centímetros de largo dentro del tubo capilar que sirve de recipiente al alcohol.

El tubo tiene la forma de U, utilizado por el SENAMHI en todas sus estaciones.

3.4.2.2 Precipitación

Es un parámetro meteorológico discontinuo y aleatorio; tener su registro de data es muy importante ya que tiene fines científicos, así como también determinar los cambios del clima, la planificación de los proyectos hidroenergéticos, la producción agropecuaria y el saneamiento ambiental.

A) Pluviómetro de Hellmann 200 cm²

El pluviómetro es un instrumento que tiene la finalidad de medir la cantidad de precipitación.

Es un cilindro que tiene un anillo de bronce el cual se le conoce como boca receptora y este tiene un área de captación de 200 cm², el fondo es en forma de embudo. Luego del embudo el agua pasa a un recipiente de boca estrecha donde se almacena, para luego medir la cantidad como corresponde, este recipiente se encuentra dentro de un colector.

El agua que se recolectó en el pluviómetro se mide con el uso de una probeta debidamente graduada, el material de dicha probeta puede ser de vidrio o plástico, y la unidad de medida que se utiliza para dar valor a la precipitación es en milímetros, en la probeta se puede observar divisiones largas que señalan los milímetros y cuenta también con divisiones más cortas que definen las decimas de milímetros.

Partes:

- Contamos con el receptor, el cual tiene forma cilíndrica con un área de captación de 200 cm², el cual tiene una boca a base de un anillo de bronce con borde biselado. Los más utilizados en el SENAMHI son los 200 cm² y 100 cm². El diseño de esta parte del pluviómetro debe ser adecuado para evitar las salpicaduras de la lluvia tanto hacia afuera como hacia adentro, es por ello que la pared vertical es bastante profunda y la pendiente del embudo suficientemente inclinado.
- En el depósito de retención, se almacena el agua de la precipitación cuando el colector ya está totalmente lleno y se rebalsa.
- El colector cuenta con una boca estrecha, donde no llega la radiación del sol, con la finalidad de evitar en lo más mínimo la disminución del agua a causa de la evaporación. Esta parte del pluviómetro se encuentra sobre tres bridas en el depósito de retención.
- El soporte va fijo a un poste de madera el cual sostiene a todo el pluviómetro.

- La probeta, que puede ser de vidrio o plástico, tiene la finalidad de medir la precipitación que se dio en determinado tiempo. Es un cilindro transparente con un reducido coeficiente de dilatación, sobre el cual está especificado el tamaño o tipo de pluviómetro que se utilice y tiene el fondo de forma parabólica. La capacidad máxima es de 10 mm para pluviómetros que tienen un área de captación de 200 cm² y de 25 mm para pluviómetros que tienen un área de captación de 100 cm².
- El pluviómetro deberá estar a una distancia horizontal de por lo menos 4 veces la altura de los objetos que se encuentran al rededor, con el propósito de que el flujo de aire que circule por la boca sea lo más aproximadamente horizontal.

B) Pluviógrafo de Flotador tipo Hellmann

Este instrumento tiene el objetivo de registrar continuamente las precipitaciones en un lapso de tiempo determinado. También se puede determinar la hora que inicio y finalizo la precipitación. Así mismo evaluar cual fue la intensidad de la precipitación en cada instante de tiempo.

Partes:

- Área de captación 200 cm²
- Eje vertical con flotador, es el elemento más importante del Pluviógrafo, experimenta las variaciones del nivel del agua en el colector superior durante un lapso de tiempo.
- Eje fijo con piñón de relojería
- Mecanismo de registro con brazo porta plumilla, que consiste en un conjunto de ejes y palancas, el cual mecánicamente transmiten los movimientos verticales del flotador. Para asegurar una transmisión exacta desde el flotador hasta la plumilla, se debe observar que el eje del flotador se encuentre completamente vertical, a fin de reducir la fricción entre el eje y la tapa del colector superior. El mecanismo de registro tiene:
 - Brazo porta plumilla: Los movimientos verticales del flotador son transmitidos por el sistema de ampliación hacia el brazo porta plumilla.
 - Pluma descartable: Se encuentra en la parte final del brazo porta plumilla fijado por dos abrazaderas.
- Sifón de vidrio
- Colector superior

- Tambor de rotación con sistema de relojería: Es un cilindro metálico, en el interior se encuentra un sistema de relojería y en el exterior se fija el pluviograma mediante una varilla denominada fleje. El borde saliente de la pestaña inferior del tambor sirve como base sobre el cual reposa el pluviograma.

La banda de registro denominada Pluviograma está grabada en forma tal que cada línea horizontal representa 0.1 mm y las líneas verticales indican las horas. Puede ser de registro diario o semanal según se seleccione.

Para el registro de 1 día están graduadas en 24 horas, con subdivisiones por lo general para cada 10 a 15 minutos.

Para el registro de 7 días tiene subdivisiones por lo general para cada 2 horas, en el lapso total de 1 semana. La parte superior del pluviograma de 7 días indica los días de la semana que se inicie el lunes. Se coloca todos los días lunes inmediatamente después de la observación de las 07:00 horas.

- Colector interior
- Manguera

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Resultados de la investigación

4.1.1 Resultado que explica el objetivo general

La tendencia de la precipitación y la temperatura debido al cambio climático observadas en las estaciones meteorológicas La Pampilla y Pampa Blanca de la región Arequipa son presentados en las siguientes figuras.

Estación La Pampilla – Temperatura media

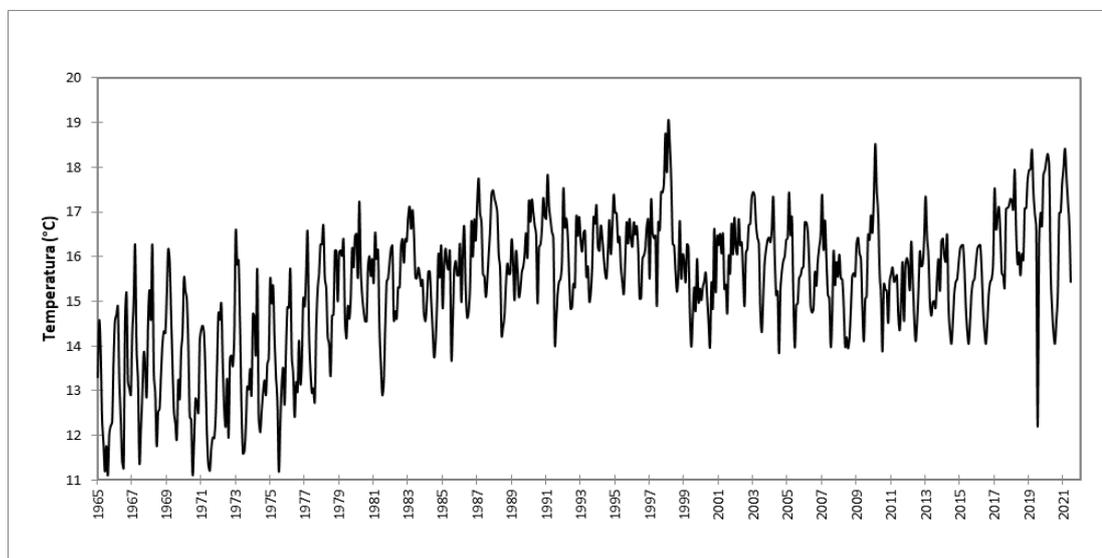


Figura 12. Distribución de la temperatura media de la estación meteorológica La Pampilla – Arequipa, periodo 1965 – 2020.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 12 se observa una distribución normal durante cada año de la temperatura media mensual, los valores están entre 11 °C y 19 °C para el periodo 1965-2020.

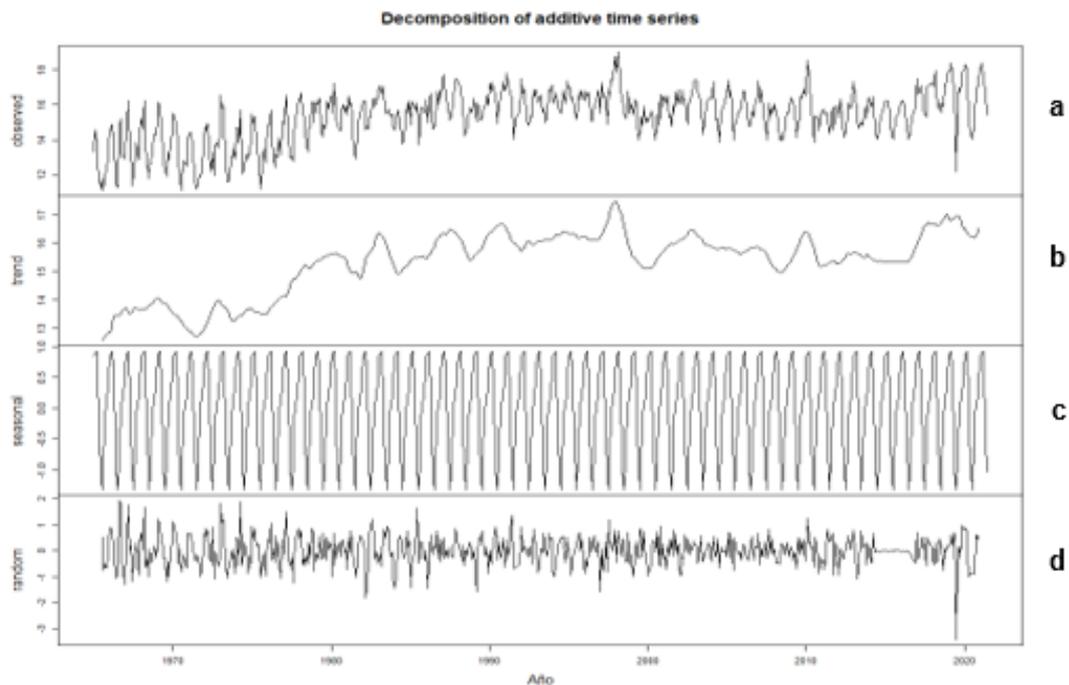


Figura 13. Descomposición de la serie de tiempo de la temperatura media de la estación meteorológica La Pampilla de Arequipa 1965 – 2020.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 13 se puede visualizar los datos observados (a), los cuales fueron descompuestos usando series de tiempo en 3 partes: la estacionalidad (c), los aleatorios o ruido (d) para luego obtener la tendencia (b)

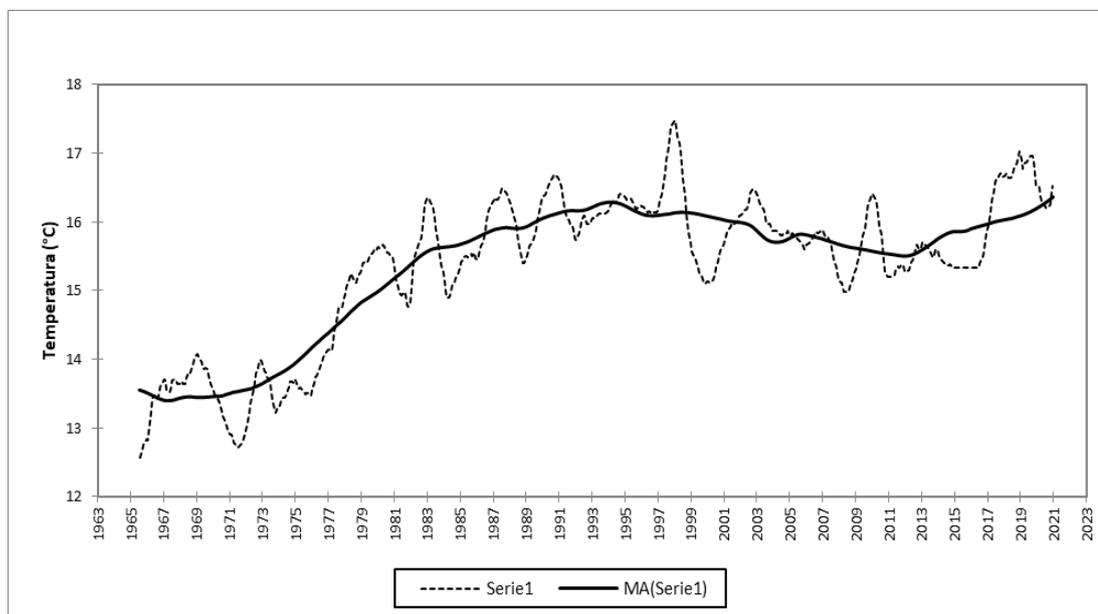


Figura 14. Suavización de la tendencia de la temperatura media mensual en la estación meteorológica La Pampilla de Arequipa 1965 – 2020
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 14 se observa componentes cíclicos a lo largo de la serie los cuales fueron suavizados a través de medias móviles para determinar la tendencia.

4.1.2 Pruebas de hipótesis

A) Prueba de hipótesis para la tendencia de la temperatura media mensual de la estación meteorológica La Pampilla.

H_0 = No hay tendencia

H_a = Hay tendencia

$\alpha = 0.05$

Se aprueba la hipótesis nula el p-valor es < 0.0001

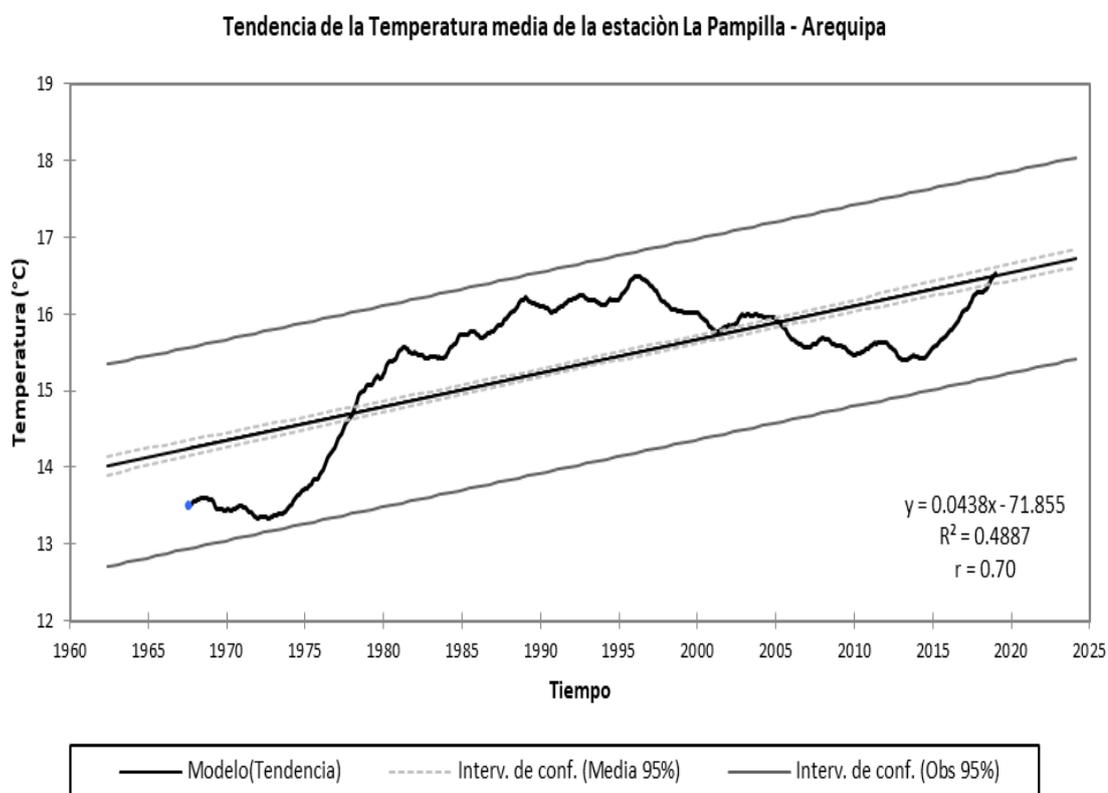


Figura 15. Tendencia de la temperatura media mensual de la estación meteorológica La Pampilla de la región de Arequipa, periodo 1965 – 2020.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 15 podemos observar la tendencia ascendente de la temperatura media, intervalo de confianza y el modelo de regresión.

Estación La Pampilla – Precipitación

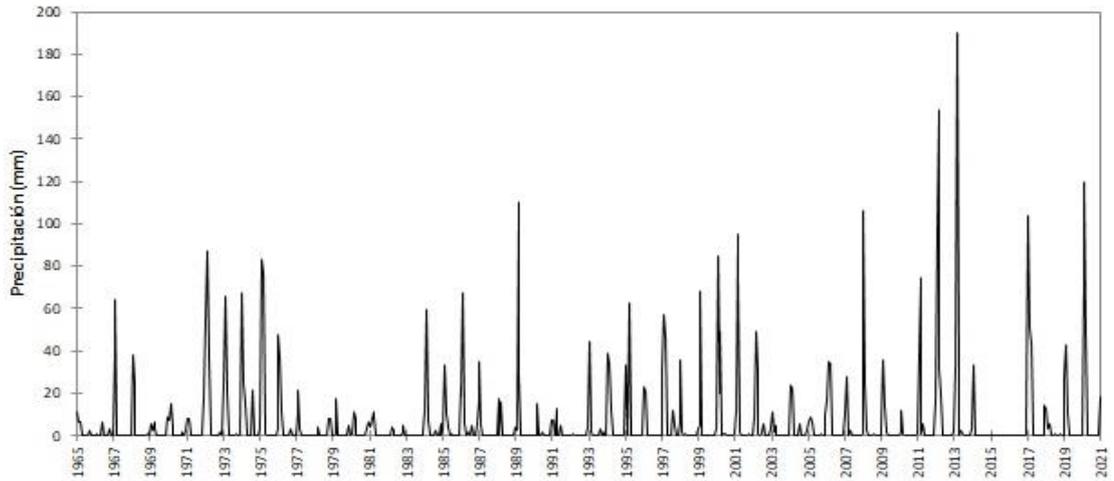


Figura 16. Distribución de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica La Pampilla – Arequipa, periodo 1965 – 2020.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 16 se puede observar de forma frecuentes valores mensuales por debajo de 20 mm de precipitación para el periodo 1965 y 1992; así mismo se observa que la precipitación es más abundante a partir de 1993 y la cantidad más alta precipitada fue en el 2013.

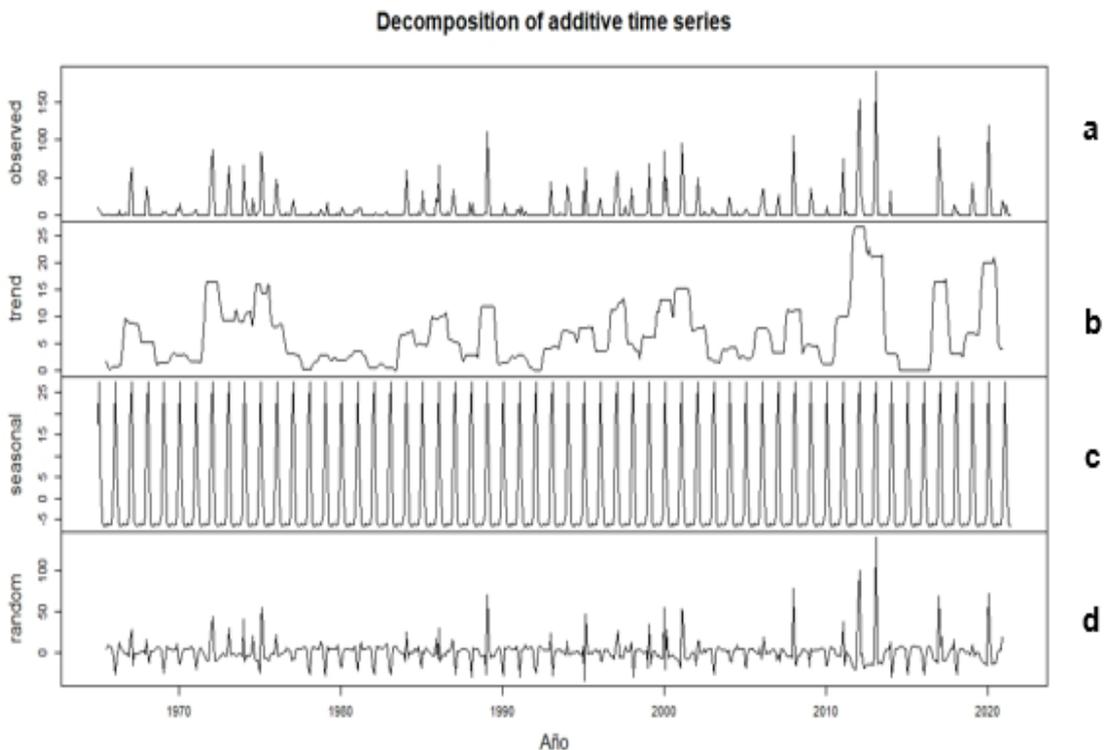


Figura 17. Descomposición de la serie de tiempo de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica La Pampilla de Arequipa 1965 – 2020.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 17 se observa la distribución de la precipitación mensual acumulada (a) y sus componentes: tendencia (b) estacionalidad (c) que son frecuentes año tras año y eventos atípicos (d) que suceden por diversas causas pero que no son frecuentes.

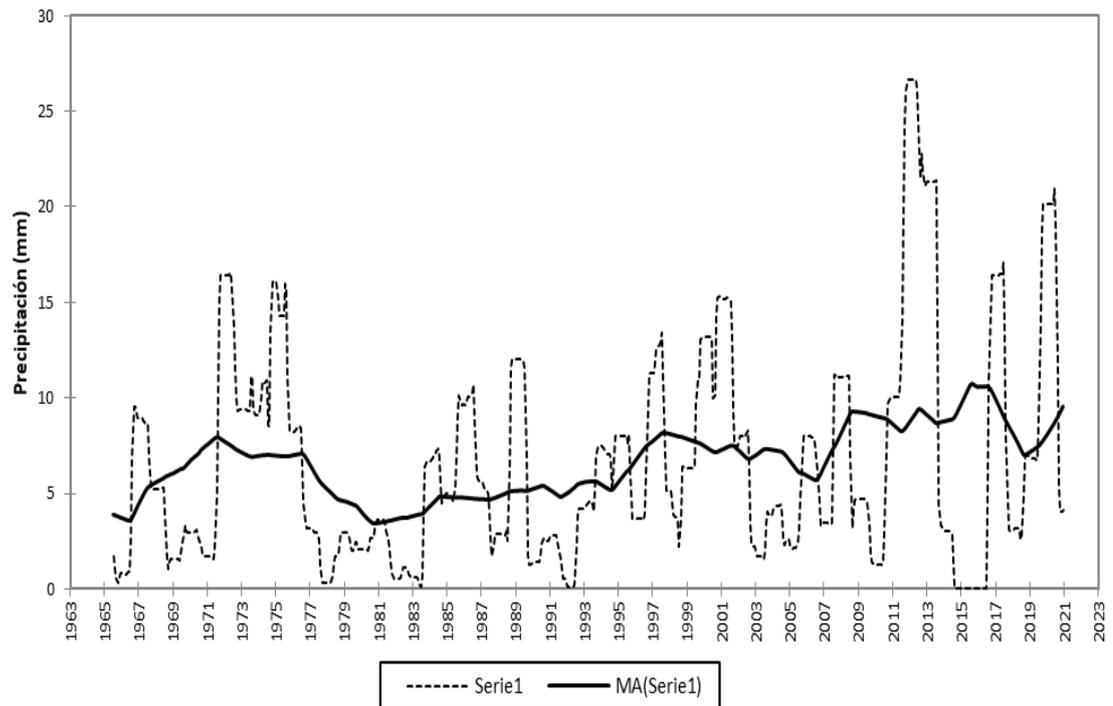


Figura 18. Suavización de la Tendencia de la precipitación acumulada de la estación meteorológica La Pampilla de Arequipa 1965 – 2020.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 18 muestra ciclos, los cuales fueron suavizados a través de medias móviles.

B) Prueba de hipótesis para la tendencia de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica La Pampilla.

H_0 = No hay tendencia

H_a = Hay tendencia

Para $\alpha = 0.05$

Se acepta la hipótesis alterna el $\alpha < 0.001$

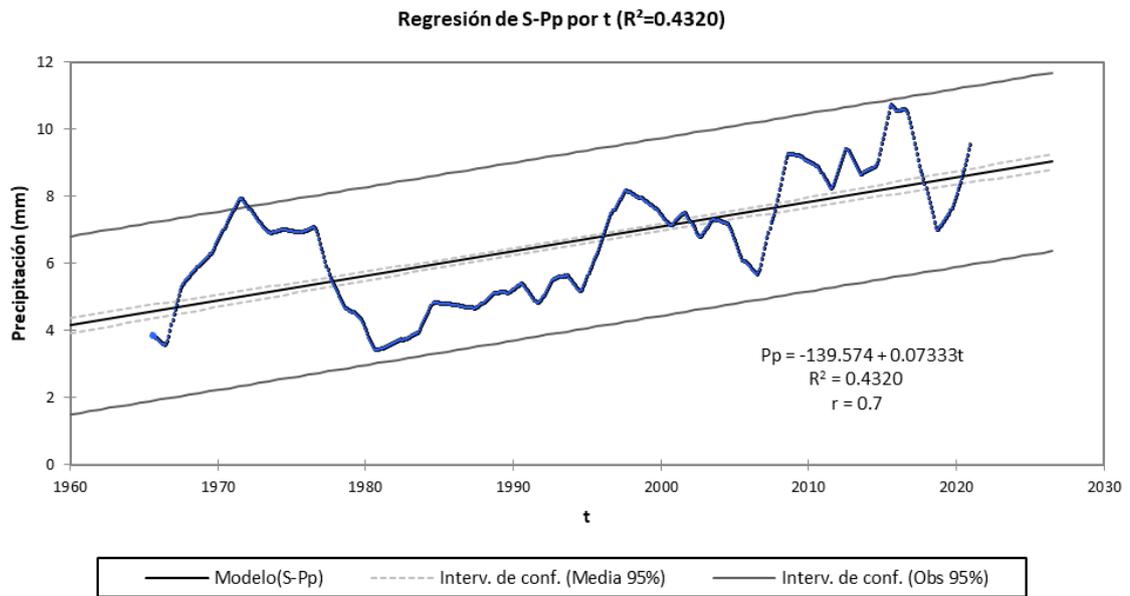


Figura 19. Tendencia de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica La Pampilla de la región de Arequipa, periodo 1965 – 2020
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 19 podemos observar la tendencia ascendente de la precipitación mensual acumulada, el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación

Estación Pampa Blanca - Temperatura media

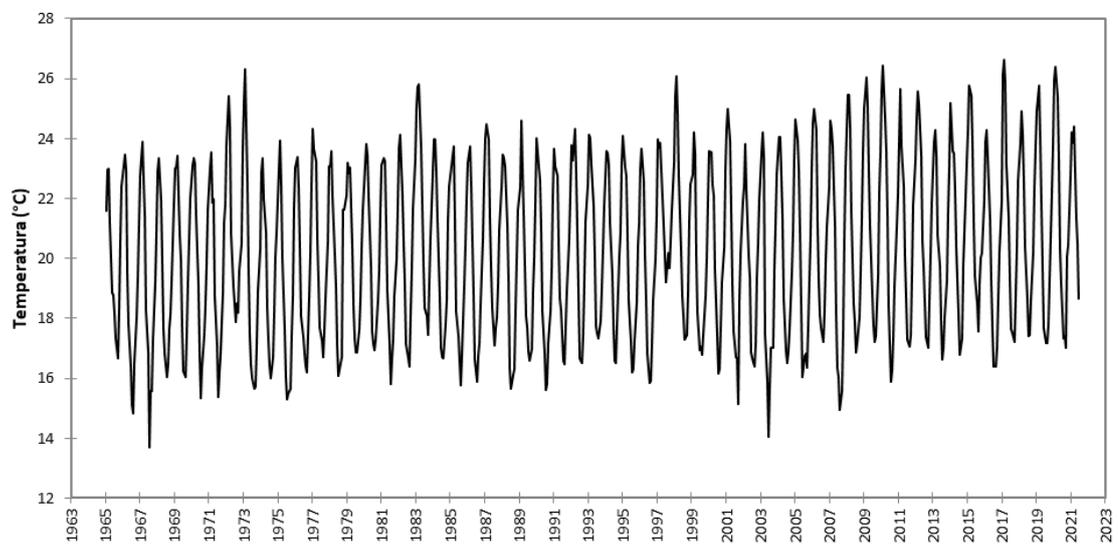


Figura 20. Distribución de la temperatura media mensual de la estación meteorológica Pampa Blanca de la región Arequipa, periodo 1965 – 2020.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 20 se observa el rango de la temperatura media mensual esta entre 13 °C y 26 °C.

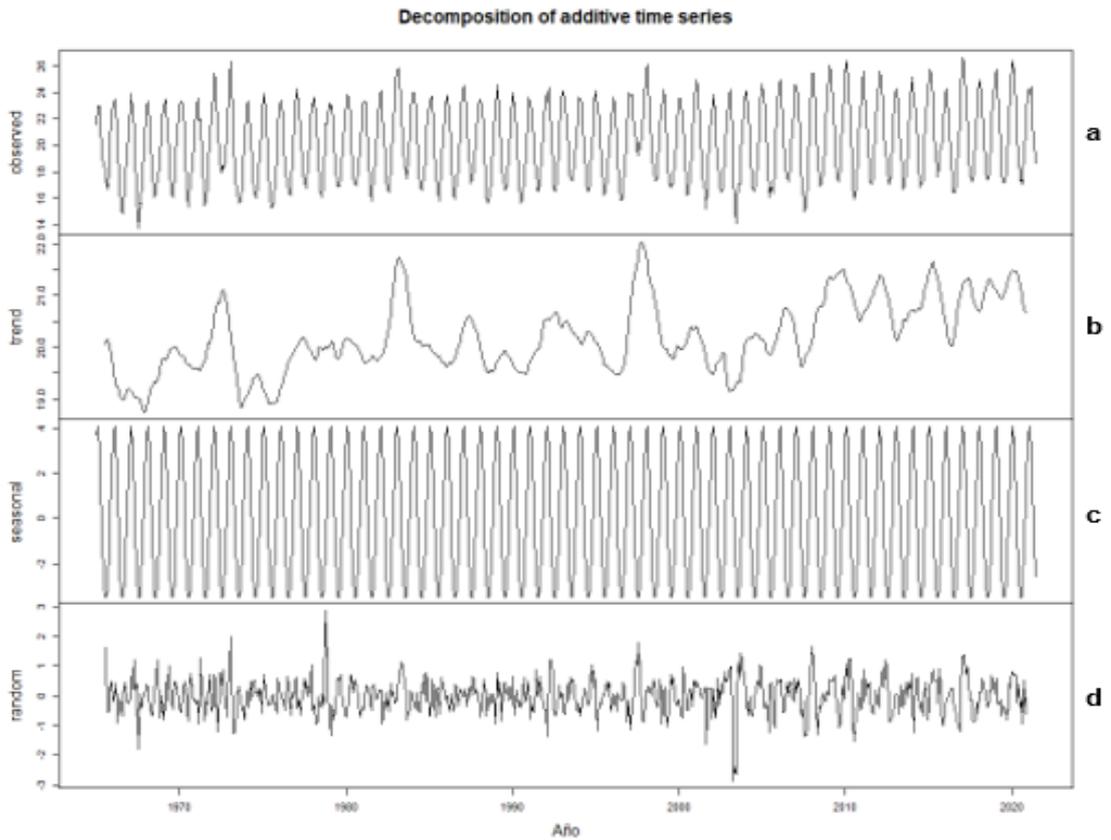


Figura 21. Descomposición de la serie de tiempo de la temperatura media de la estación meteorológica Pampa Blanca de la región Arequipa, periodo 1965 – 2020. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 21 se observa la distribución de la serie (a), igualmente tenemos la tendencia en (b), la estacionalidad (c), y el ruido (d)

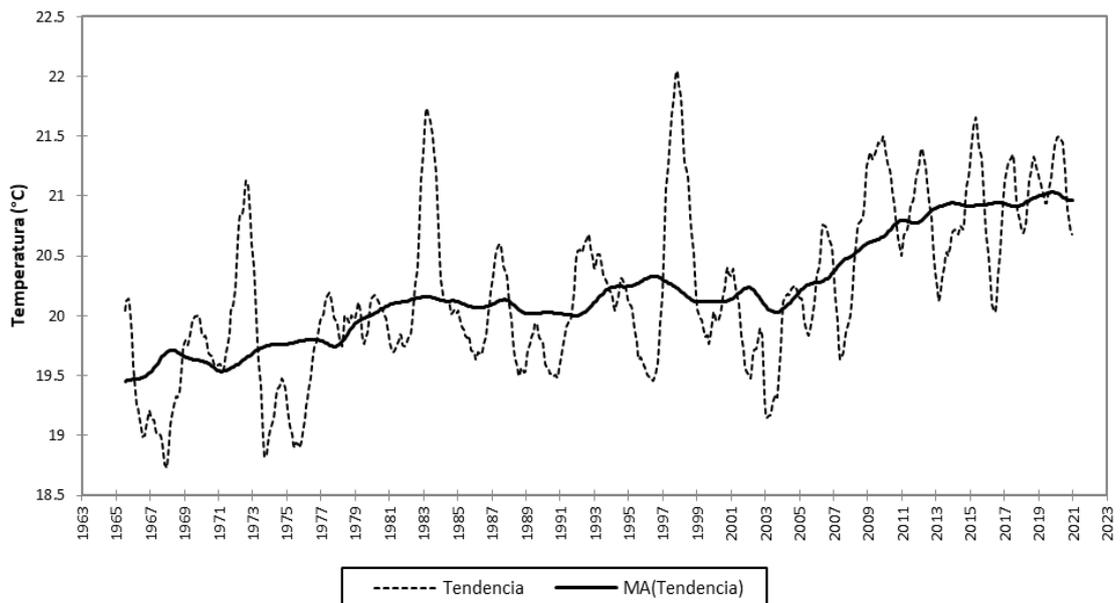


Figura 22. Suavización de la Tendencia de la temperatura media mensual de la estación meteorológica de Pampa Blanca de Arequipa, periodo 1965 – 2020. Fuente: Elaboración propia.

La figura 22 muestra ciclos tanto por encima y por debajo de la línea, los cuales son suavizados a través de medias móviles.

C) Prueba de hipótesis, para la tendencia de la temperatura media mensual de la estación meteorológica La Pampilla

H_0 = No hay tendencia

H_a = Hay tendencia

Para $\alpha = 0.05$

Se acepta la hipótesis alterna el $\alpha < 0.001$

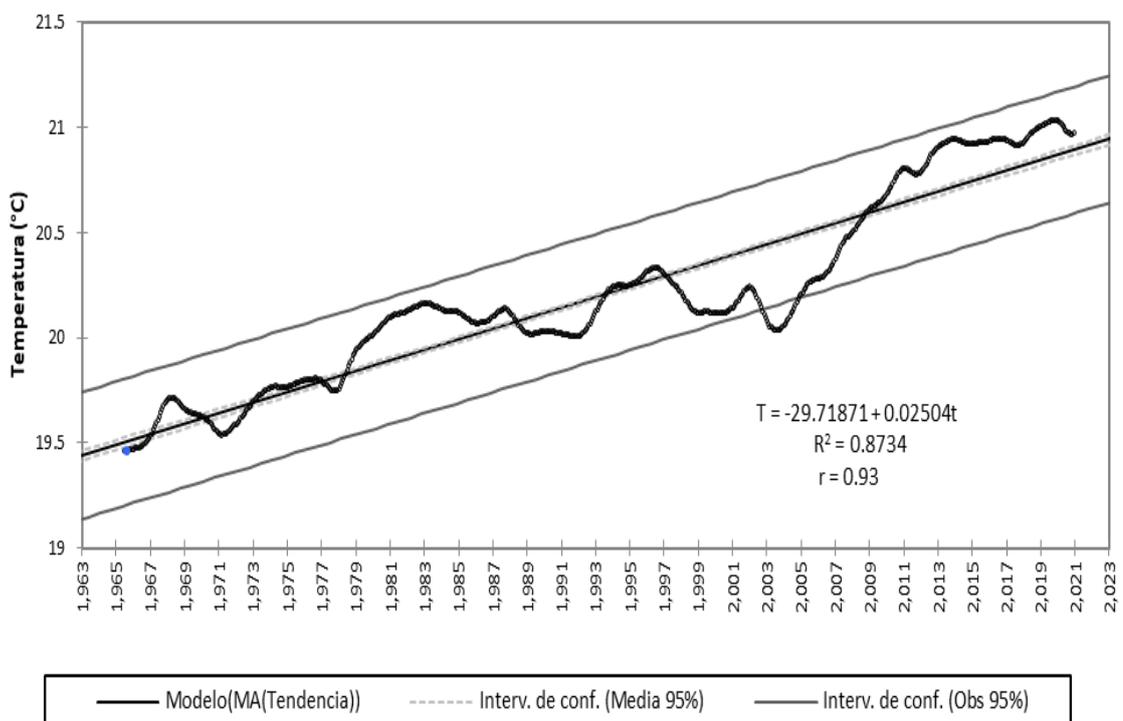


Figura 23. Tendencia de la Temperatura Media mensual de la estación meteorológica Pampa Blanca de la región de Arequipa, periodo 1965 – 2020
Fuente: Elaboración propia.

La figura 23 muestra una tendencia ascendente para la temperatura media mensual.

Estación Pampa Blanca – Precipitación

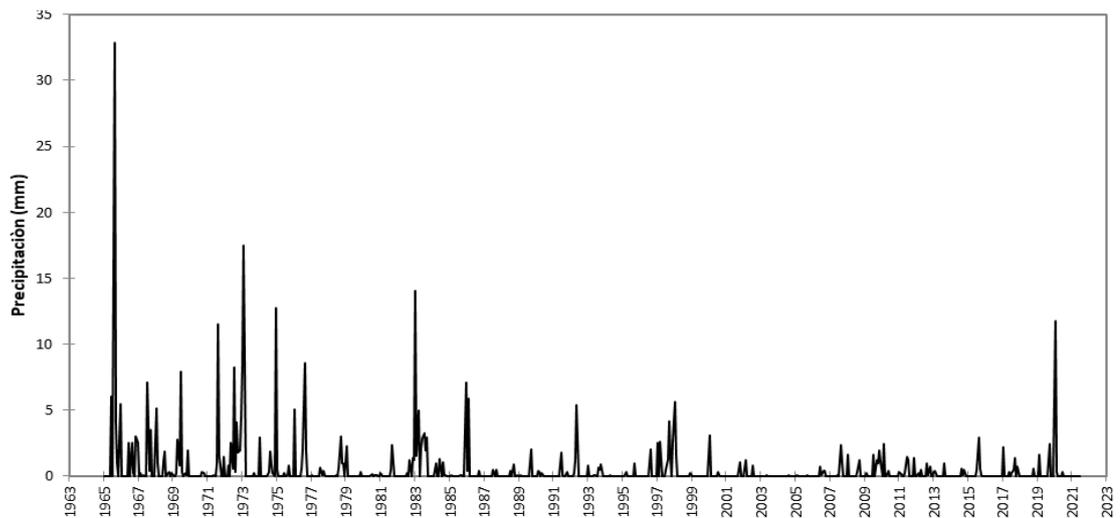


Figura 24. Distribución de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica Pampa Blanca – Arequipa, periodo 1965 – 2020.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 24 se muestra la serie de precipitación mensual acumulada, resaltando falta de precipitación en muchos meses y habiendo tenido la mayor cantidad de agua precipitada en 1965.

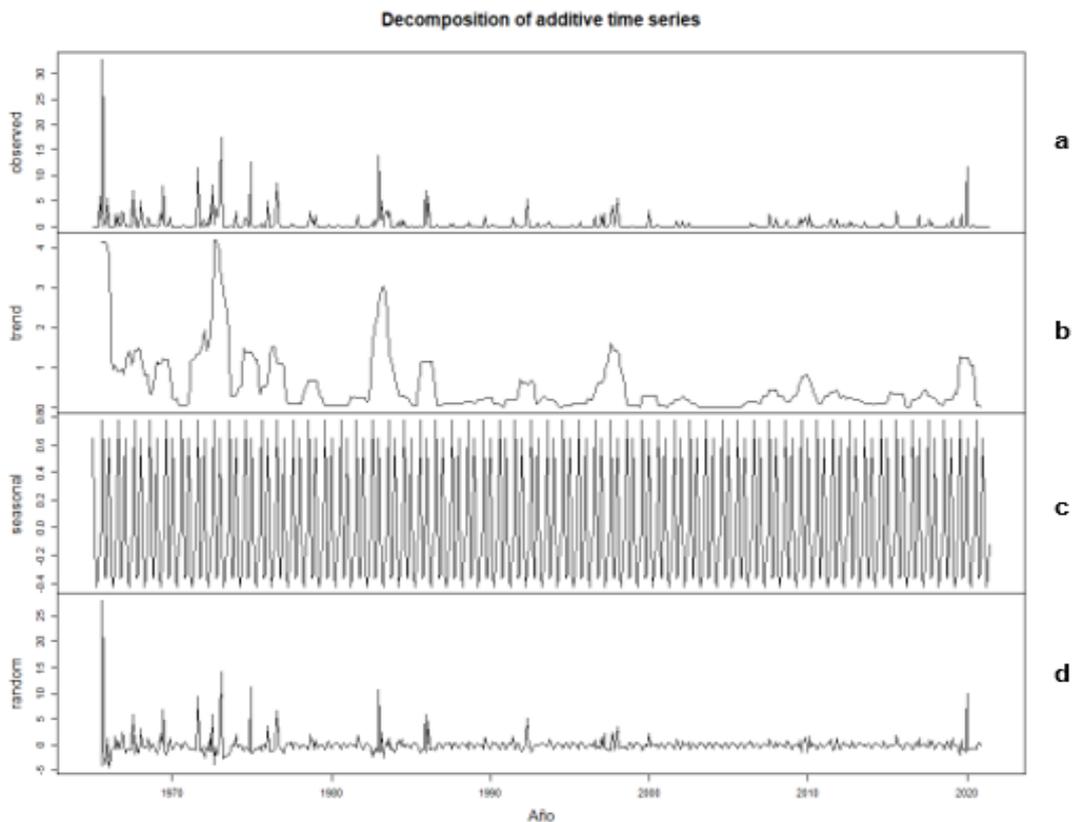


Figura 25. Descomposición de la serie de tiempo de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica Pampa Blanca de Arequipa 1965 – 2020.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 25 se demuestra la descomposición de los valores; (a) la distribución tal cual se presentó, (b) la tendencia a lo largo del tiempo, (c) el evento que se repite año tras año llamado estacionalidad de la precipitación y (d) son los eventos aleatorios.

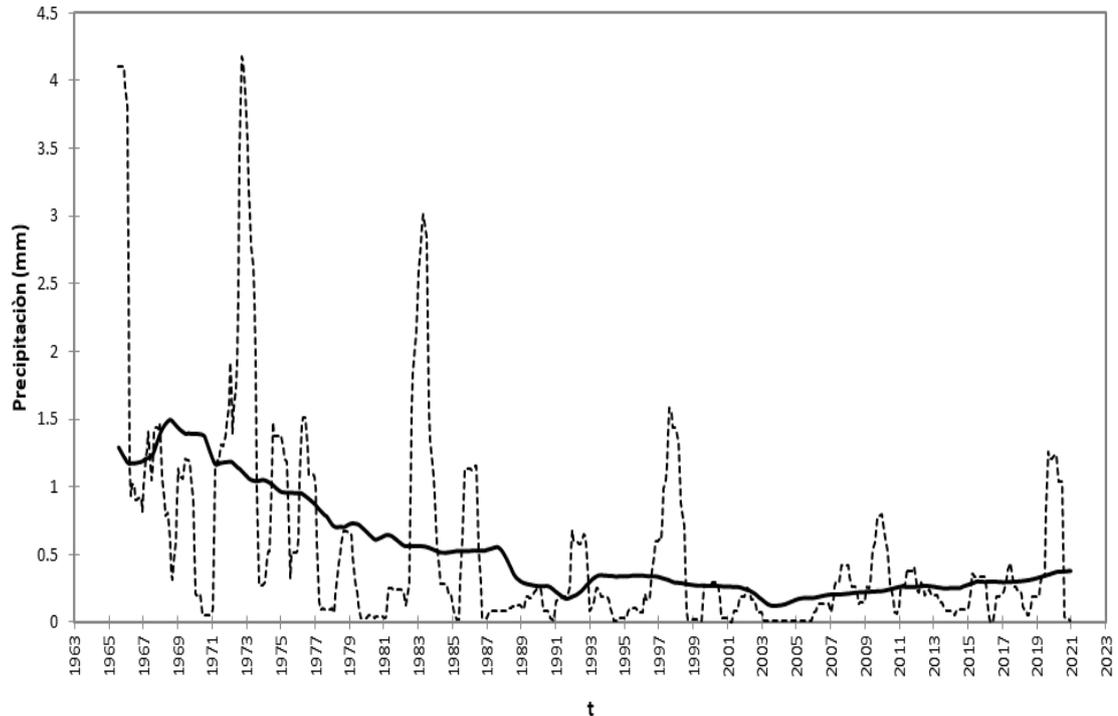


Figura 26. Suavización de la Tendencia de la precipitación acumulada mensual en la estación meteorológica de Pampa Blanca de Arequipa, periodo 1965 – 2020. Fuente: Elaboración propia.

La figura 26 muestra ciclos a lo largo de los años, los cuales son suavizados.

D) Prueba de hipótesis, para la tendencia de la precipitación acumulada de la estación meteorológica Pampa Blanca

Prueba de hipótesis

H_0 = No hay tendencia

H_a = Hay tendencia

$\alpha = 0.05$

Se aprueba la hipótesis alterna el p-valor es < 0.0001

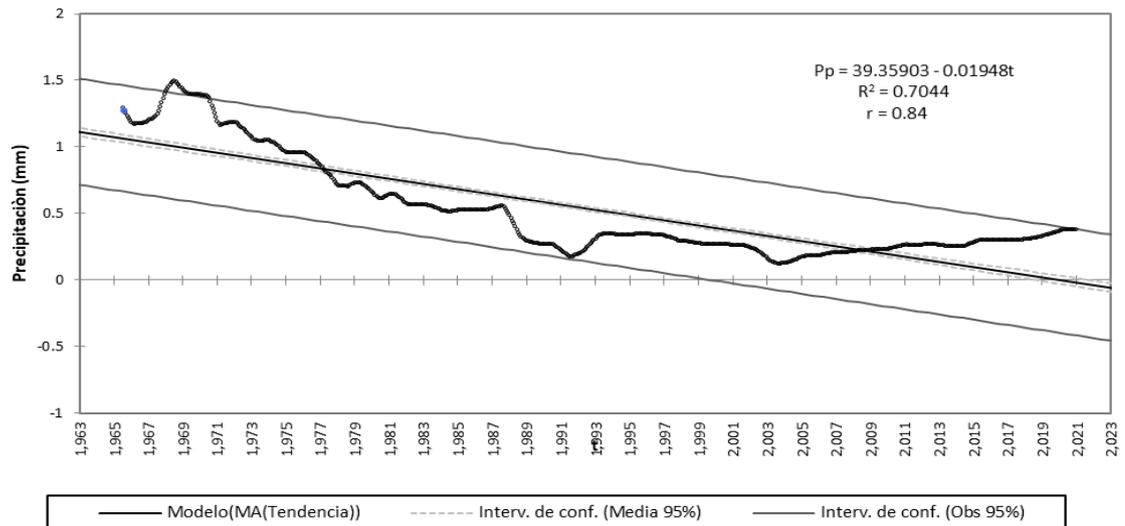


Figura 27. Tendencia de la serie de tiempo de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica Pampa Blanca de la región Arequipa, periodo 1965 - 2020.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 27 se puede visualizar la tendencia descendente de la precipitación mensual acumulada, además el modelo de regresión, el coeficiente de determinación y el coeficiente de correlación

4.1.3 Resultado para lograr explicar el objetivo específico 1

Características del comportamiento de la temperatura máxima mensual

Estación La Pampilla

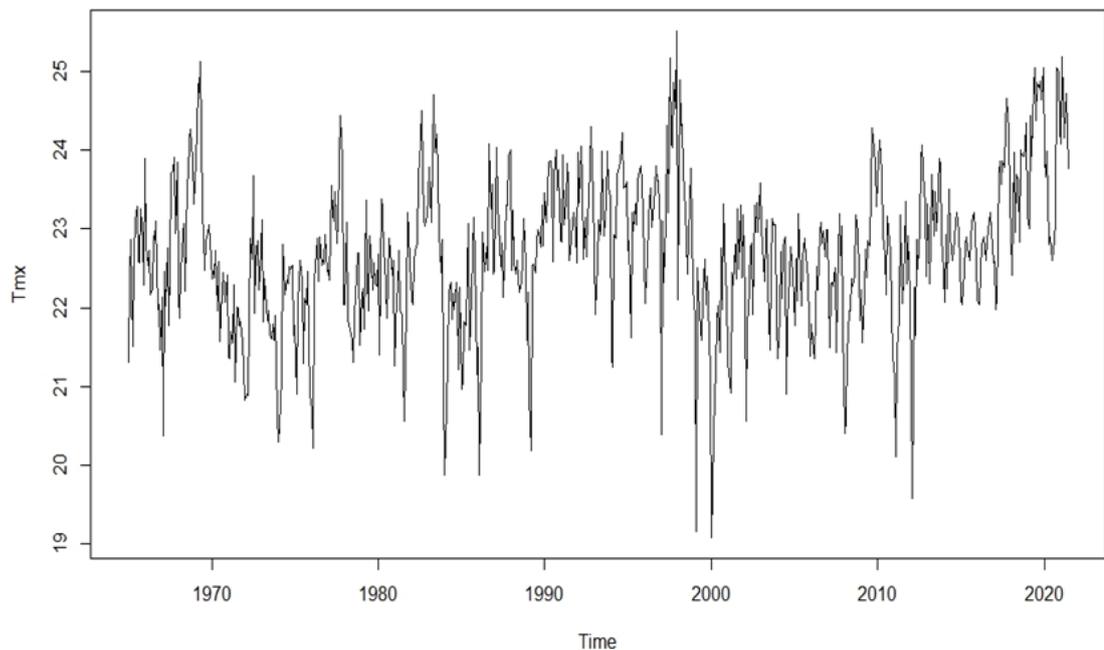


Figura 28. Distribución de la temperatura máxima mensual de la estación meteorológica La Pampilla de la región Arequipa, periodo 1965 – 2020.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 28 se puede observar los ciclos anuales de la temperatura máxima siendo frecuentes temperaturas entre 22 a 24°C; sin embargo, también se observa algunos eventos poco frecuentes de temperaturas por encima de los 24°C.

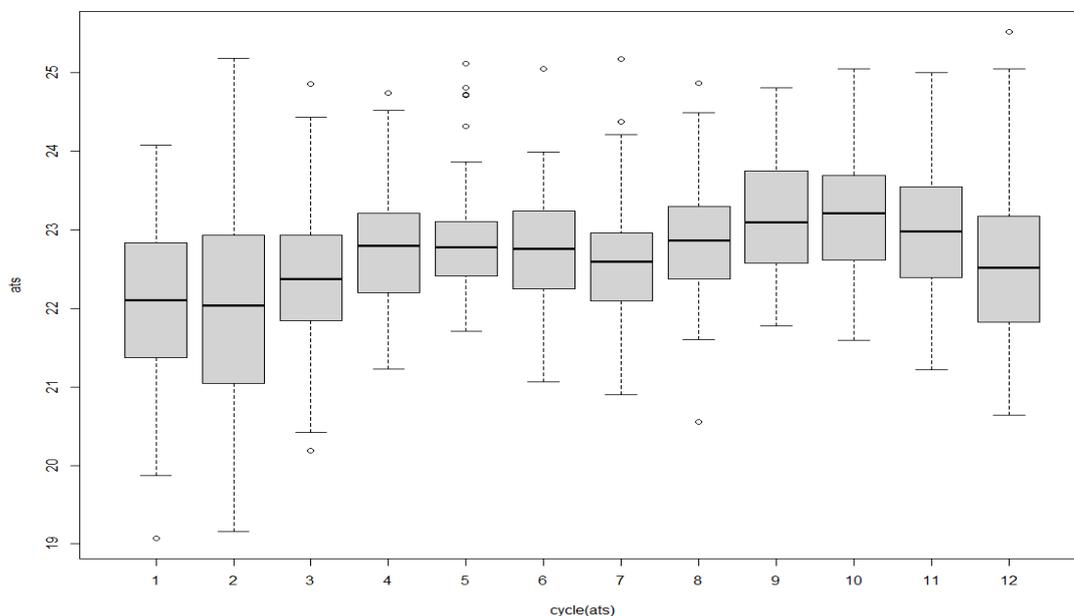


Figura 29. Caja de bigotes de la Temperatura máxima mensual de la estación meteorológica de La Pampilla de Arequipa 1965 – 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a la estación Pampa blanca - Temperatura máxima.

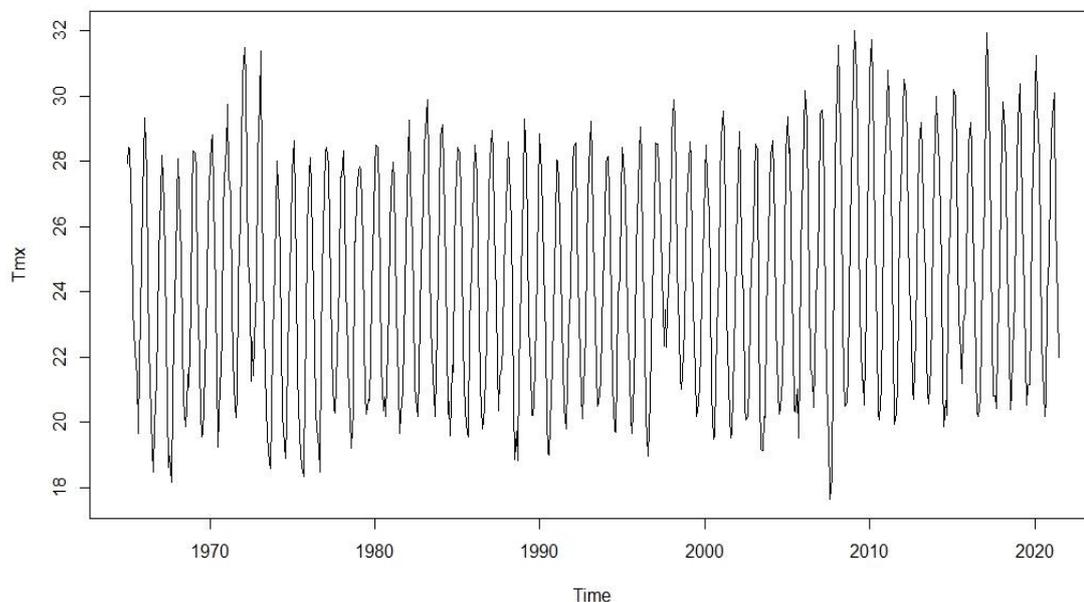


Figura 30. Distribución de la temperatura máxima mensual de la estación meteorológica Pampa Blanca de la región Arequipa, periodo 1965 – 2020.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 30 se puede observar la distribución de la temperatura máxima mensual, se observa que frecuentemente se presentan entre 21 a 29°C.

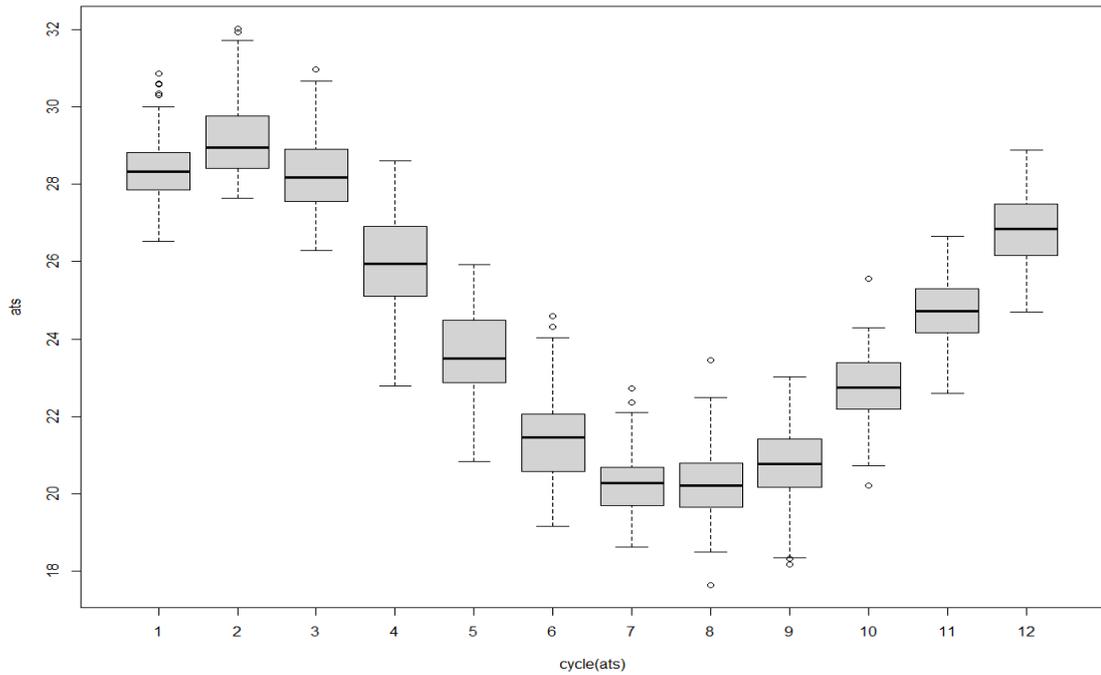


Figura 31. Caja de bigotes de la Temperatura máxima de la estación meteorológica de Pampa Blanca de Arequipa 1965 – 2020.
Fuente: Elaboración propia.

La figura 31 nos señala la temperatura máxima mensual multianual para los doce meses.

4.1.4 Resultado para lograr explicar el objetivo específico 2

Características del comportamiento de la temperatura mínima mensual.

Estación La Pampilla – Temperatura mínima.

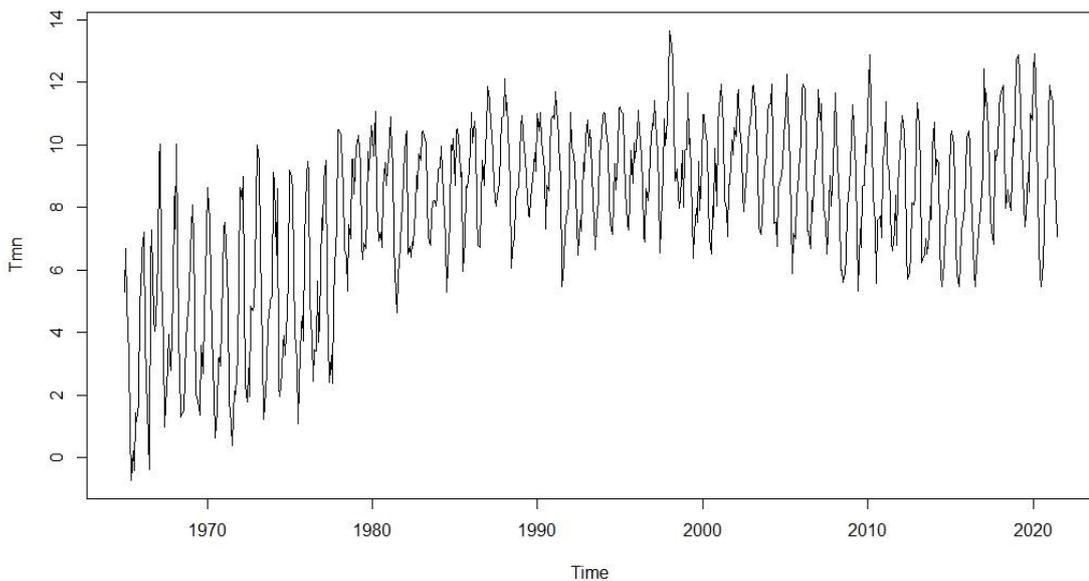


Figura 32. Distribución de la temperatura mínima mensual de la estación meteorológica La Pampilla de la región Arequipa, periodo 1965 – 2020.
Fuente: Elaboración propia.

La figura 32 nos indica la temperatura mínima, se observa claramente que el rango de las temperaturas mínimas viene incrementándose en esta estación.

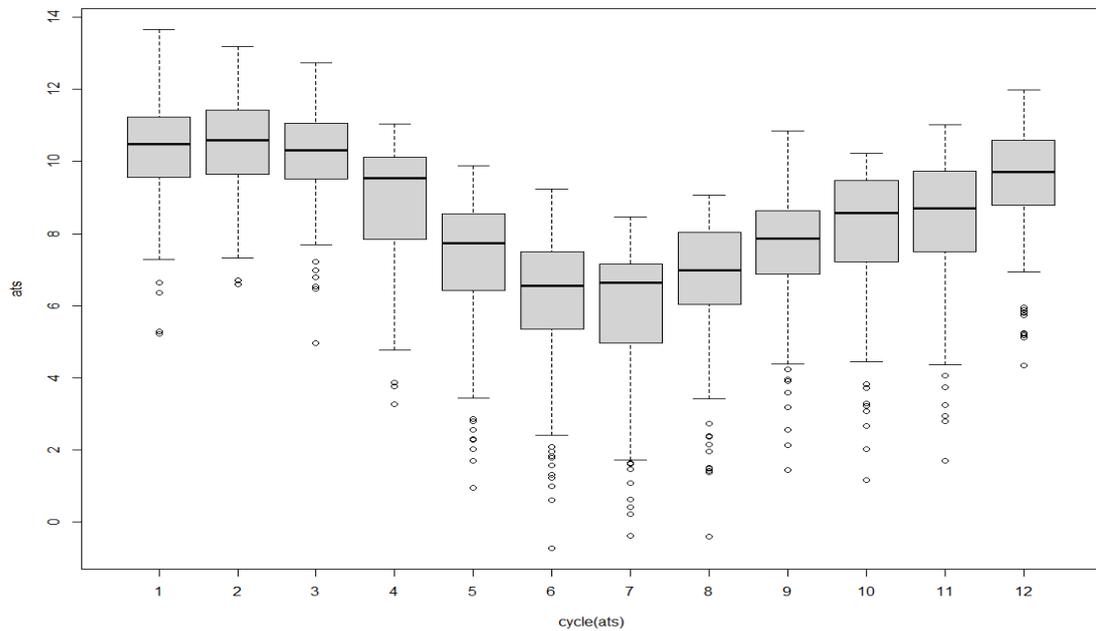


Figura 33. Caja de bigotes de la temperatura mínima mensual de la estación meteorológica La Pampilla de la región Arequipa, periodo 1965 – 2020. Fuente: Elaboración propia.

La figura 33 muestra cómo se encuentran las temperaturas mínimas mensuales para los doce meses

Estación Pampa blanca - Temperatura mínima

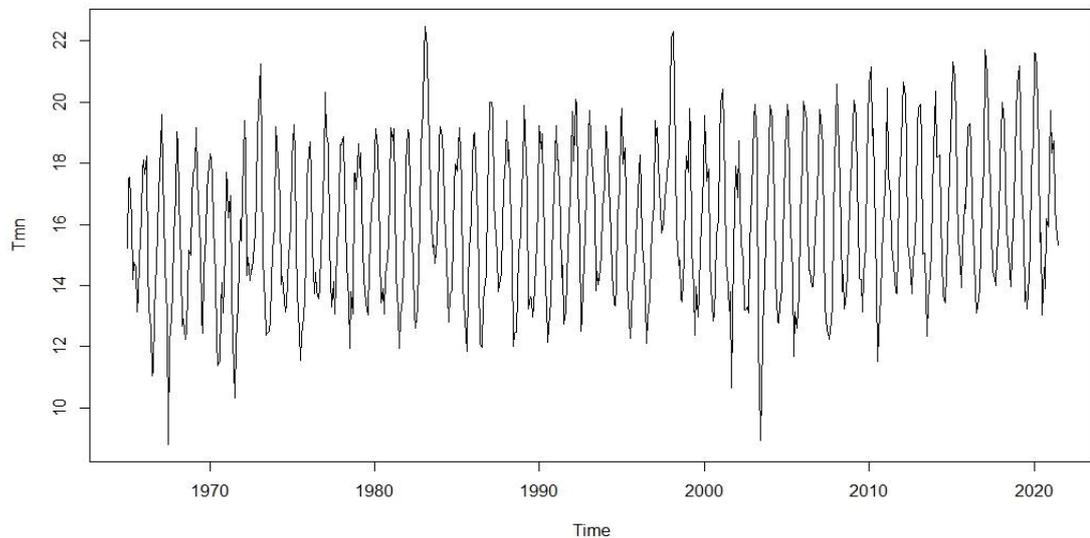


Figura 34. Distribución de la temperatura mínima mensual de la estación meteorológica Pampa Blanca de la región Arequipa, periodo 1965 – 2020. Fuente: Elaboración propia.

La figura 34 nos indica la temperatura mínima mensual, el rango se encuentra entre 2 y 22°C.

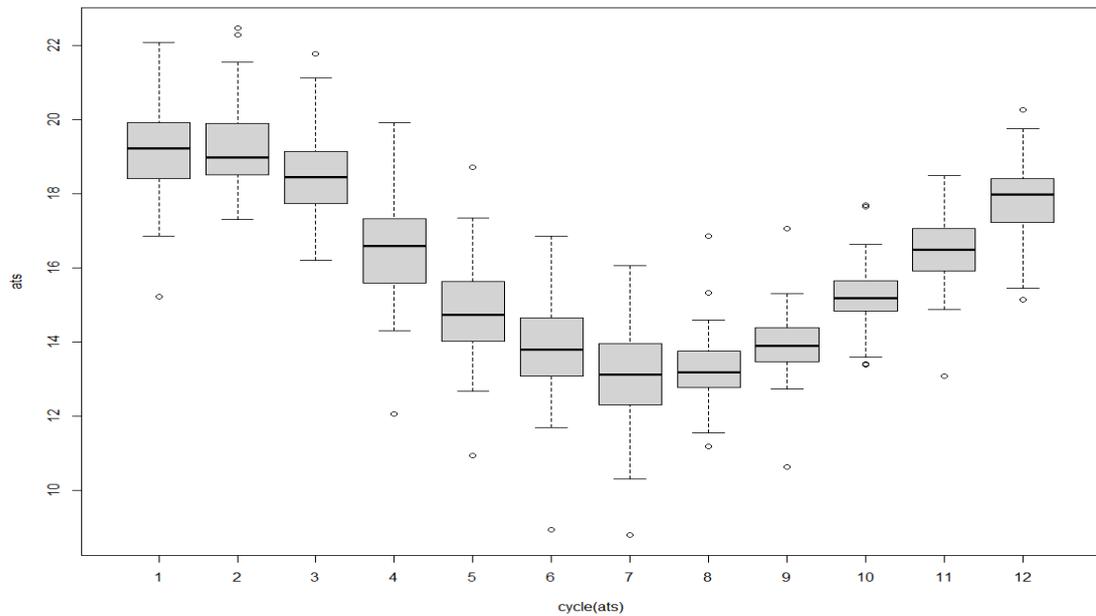


Figura 35. Caja de bigotes de la temperatura mínima de la estación meteorológica de Pampa Blanca de Arequipa 1965 – 2020.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 35 podemos observar la caja de bigotes de las temperaturas mínimas para los doce meses del año

4.1.5 Resultado para lograr explicar el objetivo específico 3

Características del comportamiento de la precipitación mensual acumulada.

Estación La Pampilla – precipitación acumulada

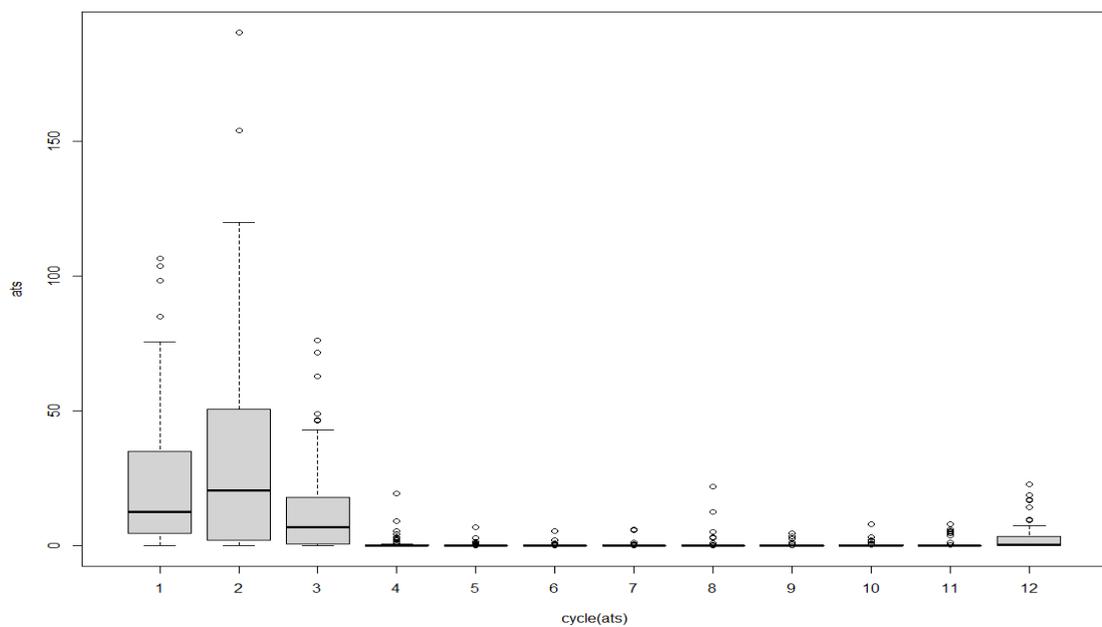


Figura 36. Caja de bigotes de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica de La Pampilla de Arequipa 1965 – 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a la Estación Pampa blanca – precipitación acumulada.

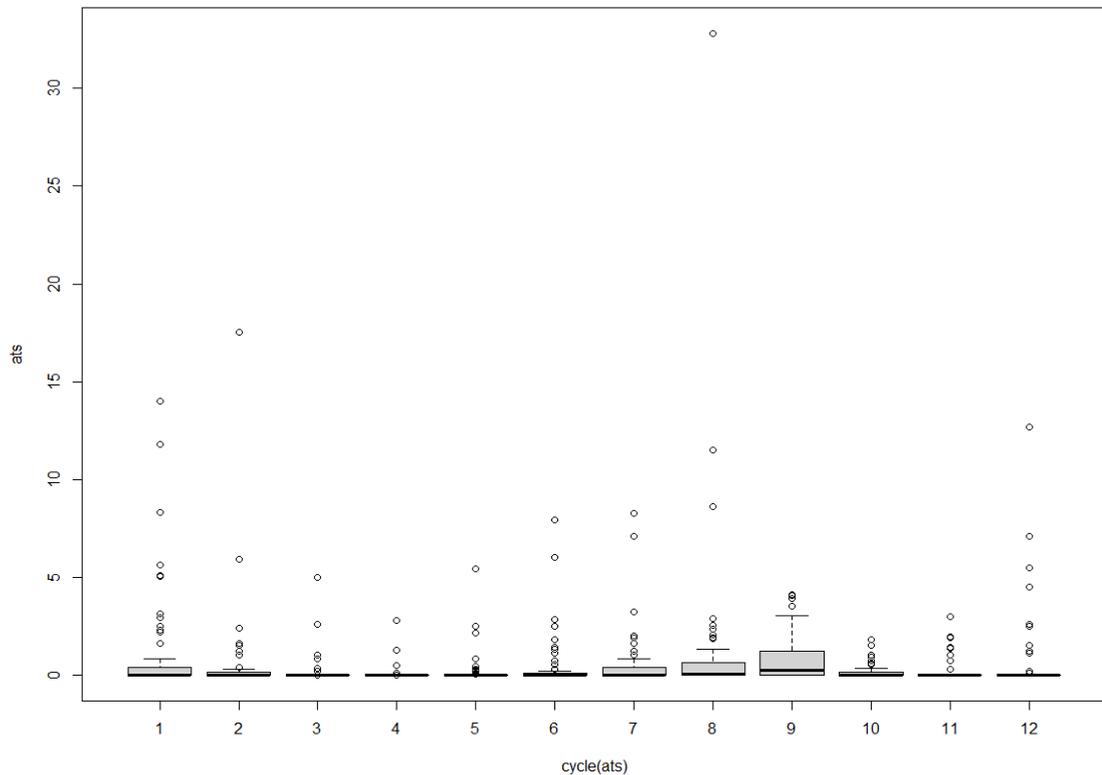


Figura 37. Caja de bigotes de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica de Pampa Blanca de Arequipa 1965 – 2020.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Análisis de resultados

Tendencia de la precipitación y la temperatura debido al cambio climático observada en las estaciones meteorológicas La Pampilla y Pampa Blanca de la región Arequipa

Temperatura media.

La distribución de la temperatura media de la estación meteorológica La Pampilla (figura 12), muestra ciclos año tras año de esta variable, así mismo se observa que los valores más bajos se dieron en los once primeros años evaluados es decir entre 1965 al 1976, el valor más alto para la serie está por encima de 19 °C, además las temperaturas medias más frecuentes fluctúan entre 14 y 17 °C. Por otro lado, la serie de las temperaturas medias de la estación meteorología Pampa Blanca (figura 20), se observa que también presenta ciclos anuales; así mismo, el valor más bajo de esta serie fue en 1967 alrededor de 14 °C mientras que el valor más alto 27 °C registrada en el 2017.

La descomposición de la serie de tiempo de la temperatura media se observa para la estación La Pampilla (figura 13), y Pampa Blanca (figura 21); los datos observados (a), son separados de sus componentes: la estacionalidad (c) que sucede cada año, el ruido o la aleatoriedad (d) para luego tener la tendencia (b).

La tendencia obtenida de las figuras (13 y 21) fueron suavizadas a través de las medias móviles (figura 14 y 22), obteniéndose datos por encima y debajo de la línea.

El p-valor es 0.0001 es menor al valor de $\alpha = 0.05$. Se rechaza la hipótesis nula, hay tendencia para la temperatura media en ambas estaciones (figura 15 y 23). Según el análisis de regresión lineal, la tendencia de la temperatura media mensual es ascendente en el tiempo para ambas estaciones ascendente. Tiene buena correlación ($r = 0.70$), y su coeficiente de determinación es ($R^2 = 0.48$) lo cual indica que la tendencia se debe al 48 % de las variaciones del tiempo y que la diferencia es debida a otros factores para la estación La Pampilla. Así mismo para la estación meteorológica Pampa Blanca (figura 23), la correlación es muy buena ($r = 0.93$) y su coeficiente de determinación ($R^2 = 0.87$).

Precipitación.

La distribución de la precipitación mensual acumulada para las estaciones del estudio La Pampilla (figura 16) y Pampa Blanca (figura 24), muestra anualmente una época lluviosa y otra de estiaje, la más alta precipitación para el periodo de estudio se dio en el año 2013 por encima de 180 mm/mes para la estación La Pampilla; mientras que para la estación Pampa Blanca fue en el año 1965 con más de 30 mm/mes de agua precipitada.

Asimismo, las series de tiempo de la precipitación de ambas estaciones (figura 17 y 25) fueron descompuestas en sus componentes para luego ser suavizadas (figura 18 y 26). El análisis de varianza para la tendencia indico que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

La figura 19 muestra tendencia ascendente para la precipitación mensual acumulada para la estación La Pampilla, buena correlación ($r = 0.7$) y con un coeficiente de determinación ($R^2 = 0.43$). Mientras que, la tendencia para la estación Pampa Blanca (figura 27) es descendente, todo indica que este lugar está siendo cada vez más seco, además el modelo tiene muy buena correlación ($r = 0.84$) y un coeficiente de determinación ($R^2 = 0.70$).

Características del comportamiento de la temperatura máxima mensual para la estación La Pampilla y Pampa Blanca

La distribución de las temperaturas máximas registradas en la estación La Pampilla (figura 28) muestra temperaturas frecuentes entre 22 y 24°C, menos frecuentes son temperaturas alrededor de 21°C y 25°C y escasamente frecuentes se tiene temperaturas por debajo de 20°C. Mientras que para la estación Pampa Blanca (figura 30), presento rangos de temperatura entre 19 y 31°C, el promedio multianual está alrededor de 25°C. Así mismo, se puede observar claramente que la temperatura máxima para esta estación viene incrementándose.

La caja de bigotes para la estación La Pampilla (figura 29) indica cómo están distribuidas las temperaturas máximas registradas en esta estación. La media para el mes de enero (primer mes) es 22.1° C, el 50 % de los datos para este mes se encuentran entre 21.36 °C y 22.89 °C (Q1 y Q3), la caja indica que la distribución es simétrica y hay dispersión de los datos, además se muestra un evento atípico representado mediante círculo (19.1 °C). El mes de febrero (segundo mes) muestra una media de 22.04 °C, la caja se muestra alargada al igual que los bigotes lo cual indica que hay alta dispersión de los datos, tiene distribución simétrica, el valor mínimo fue 19.2 °C (bigote inferior) y el valor superior fue 25.2 °C (bigote superior). El mes de marzo (tercer mes) tiene como mediana 22.38 °C, por la forma de la caja y los bigotes se observa que los datos son menos variables que los dos meses anteriores, en este mes se han presentado dos eventos atípicos. La mediana para el mes de abril (cuarto mes) fue de 22.8 °C, por la posición de la mediana en la caja indica que la distribución es asimétrica negativa, el valor mínimo fue 21.2 °C y el valor máximo 24.7 °C. El mes de mayo (quinto mes) la mediana se ubica en el centro de la caja (Q2) con valor de 22.78 °C la caja se muestra achatada al igual que los bigotes son poco alargados lo que indica que hay escasa variabilidad de los datos para este mes; sin embargo, se muestra casos atípicos por encima del bigote superior. El mes de junio (sexto mes), tiene como valor de la mediana 22.76 °C (Q2), la caja nos indica una distribución simétrica de los datos con mayor dispersión que el mes anterior. Para el mes de julio (sétimo mes) la mediana es 22.76 °C y por su posición de esta en la caja la distribución de los datos es asimétrica negativa, el valor inferior de los datos para este mes es 21.1 y el más alto es 25 °C; así mismo, se han presentado 2 casos atípicos por encima del bigote superior. Para el mes de agosto (octavo mes), su mediana es 22.87 °C, la distribución de los datos es normal, el bigote superior esta alargado > variabilidad y el bigote inferior es más corto < variabilidad. Para el mes de setiembre (noveno mes) la caja es un rectángulo, esto indica que hay mayor dispersión de los datos, su mediana es 23.10 °C, y se encuentra en la parte inferior, por lo tanto, la distribución de los datos para este mes es asimétrica positiva. Los meses de octubre noviembre y diciembre muestra cajas ligeramente rectangulares lo cual indica ligera variabilidad en la distribución de los datos para estos meses.

La caja de bigotes para la estación Pampa blanca (figura 31) muestra en general cajas cuadradas, algunas son un poco achatadas y dos un tanto alargadas esto nos indica que la distribución de los datos de temperatura máxima para esta estación tiene una distribución normal, es simétrica, además los eventos atípicos sucedieron en los meses de enero, febrero, marzo junio, julio, agosto y octubre. A diferencia de la estación La Pampilla, se observa una curva muy marcada para la mediana en los doce. Las temperaturas medias son: 28.33 °C (enero), 28.95 °C (febrero), 28.18 °C (marzo), 25.94 °C (abril), 23.5 °C

(mayo), 21.46 °C (junio), 20.28 °C, (julio), 20.22 °C (agosto), 20.7 °C (setiembre), 22.74°C (octubre), 24.73 °C (noviembre) y 26.85 °C (diciembre).

Características del comportamiento de la temperatura mínima mensual para la estación La Pampilla y Pampa Blanca

La distribución de la temperatura mínima mensual para la estación La Pampilla (figura 32) muestra ciclos anuales, así mismo se puede observar que hay una tendencia del incremento de la temperatura mínima. La temperatura más baja fue -0.4 °C en el mes de agosto del 1965 y la más alta 13.7 °C presentada en el mes de enero. Por otro lado, en Pampa Blanca (34), apenas se percibe el incremento de la temperatura mínima, durante el periodo de estudio la más baja fue 8.8 °C en el mes de julio del 1968 y la más alta 22.5 °C en el mes de febrero del 1998.

La caja de bigotes de la temperatura mínima para la estación La pampilla (figura 33) muestra cajas casi cuadradas lo cual indica que la distribución de los datos es normal, mientras que los meses de abril, mayo, junio, julio octubre y noviembre un tanto alargadas, por lo tanto, su distribución es asimétrica. Para los meses de mayo a diciembre se muestra alta variabilidad negativa, los eventos atípicos se dan en todos los meses por debajo del bigote inferior. Las medias son: 10.49 °C (enero), 10.6 °C (febrero), 10.3 °C (marzo), 9.53 °C (abril), 7.74°C (mayo), 6.55 °C (junio), 6.63 °C, (julio), 6.97 °C (agosto), 7.86 °C (setiembre), 8.57 °C (octubre), 8.7 °C (noviembre) y 9.7 °C (diciembre).

Para la estación Pampa Blanca (figura 35), todas las cajas son pequeñas y casi cuadradas lo cual indica que la distribución de los datos es simétrica; así mismo, hay variabilidad positiva para los meses de enero a julio mientras que para los meses de agosto a diciembre es apenas apreciable su variabilidad. Por otro lado, todos los meses presentan eventos atípicos tanto inferiores como superiores. Las medias para esta estación son: 19.24 °C (enero), 18.99 °C (febrero), 18.45 °C (marzo), 16.6 °C (abril), 14.73 °C (mayo), 13.8 °C (junio), 13.12 °C, (julio), 13.19 °C (agosto), 13.9 °C (setiembre), 15.19 °C (octubre), 16.5 °C (noviembre) y 17.99 °C (diciembre).

Características del comportamiento de la precipitación mensual acumulada para la estación La Pampilla y Pampa Blanca

La caja de bigotes para la estación La Pampilla (figura 36) muestra apenas 4 cajas, el mes de enero es alargada, la mediana se encuentra en la parte inferior esto indica que la distribución de los datos de precipitación para este mes es asimétrico positivo. Asimismo, el bigote superior es alargado consecuentemente hay variabilidad positiva, el mes de febrero la caja es mucha más alargada, entonces la distribución de los datos para este mes también es asimétrica, se tiene también variabilidad positiva, para el mes de marzo la caja

es cuadrada, pero la mediana se encuentra en la parte inferior, el mes de diciembre presenta una caja achatada la cual concentra casi el total de los datos. Las medianas son: 12.41 mm (enero), 20.41 mm (febrero), 6.81 mm (marzo), 0.00 mm (abril), 0.0 mm (mayo), 0.00 mm (junio), 0.00 mm (julio), 0.00 mm (agosto), 0.00 mm (setiembre), 0.00 mm (octubre), 0.00 mm (noviembre) y 0.13 mm (diciembre). Todos los meses se presentan casos atípicos para esta variable. El valor más bajo registrado fue 0.00 mm mientras que el valor más alto fue 190.2 registrado en el mes de febrero.

Para la estación Pampa Blanca (figura 37) las cajas de bigotes son aplanadas y otros meses no tiene caja, la precipitación más alta fue 32.8 mm y la más bajo es de 00 mm, todos los meses presentan eventos atípicos y extremos.

CONCLUSIONES

- La temperatura media mensual para la estación La Pampilla y Pampa Blanca, periodo 1965 – 2021 muestra tendencia lineal ascendente. El modelo de regresión tiene buena correlación ($r=0.7$) para la estación La Pampilla y muy buena correlación ($r= 0.93$) para Pampa Blanca. Todo indica que la temperatura media se viene incrementándose en estas estaciones.
- Se rechaza la hipótesis nula, ya que la tendencia para la temperatura media se debe al 48 % de las variaciones del tiempo y que la diferencia es debida a otros factores para la estación La Pampilla, así mismo para la estación meteorológica Pampa Blanca.
- Hay tendencia ascendente para la precipitación mensual acumulada para la estación La Pampilla con una correlación buena ($r= 0.7$). Sin embargo, la tendencia es descendente para la estación Pampa blanca, con una correlación muy buena ($r= 0.84$). En el contexto del cambio climático algunos lugares se vuelven más secos mientras otros más húmedos.
- El análisis de varianza para la tendencia de precipitación indicó que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar investigaciones sobre el cambio climático y variabilidad climática en distintas zonas de la región Arequipa, que se encuentren ubicadas a distintas altitudes, para poder realizar una comparación de datos registrados y poder visualizar los cambios climáticos en Arequipa.
- Recomiendo que se continúe investigando sobre las consecuencias e impactos que pueda conllevar la variabilidad de la precipitación y temperatura, debido al cambio climático en el Distrito de Cocachacra en el sector agrícola, por motivo de la tendencia descendente de la precipitación sobre dicho sector.
- Por último, se debe difundir los resultados y conclusiones de esta investigación a las autoridades pertinentes de los distritos para que se puedan tomar medidas de prevención, control y puedan definir mecanismos de adaptación a los cambios del clima.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO EL CAMBIO CLIMÁTICO. *Cambio climático 2013*. [En línea] [Citado el: 15 de junio de 2021.] https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf. 978-92-9169-338-2.
2. —. Calentamiento global de 1,5 °C. [En línea] 2018. [Citado el: 19 de junio de 2021.] https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf. 978-92-9169-351-1.
3. INSTITUTO PARA LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LA AGRICULTURA. *Perú: Tercer País más Vulnerable al Cambio Climático*. [En línea] 2015. [Citado el: 21 de junio de 2021.] <https://www.intagri.com/articulos/noticias/peru-tercer-pais-mas-vulnerable-al-cambio-climatico>.
4. MINISTERIO DEL AMBIENTE. *¿Cómo nos adaptamos al cambio climático? Experiencia Piloto en Arequipa y Piura*. [En línea] 2007-2008. [Citado el: 9 de junio de 2021.] https://www.bivica.org/files/cambio-climatico_piura.pdf.
5. GARCÍA, Cristina. *el cambio climático: los aspectos científicos y económicos más relevantes*. [En línea] 2011. [Citado el: 28 de mayo de 2021.] <https://revistas.ucm.es/index.php/NOMA/article/viewFile/38052/36806>.
6. NACIONES UNIDAS. Noticias ONU. *La Tierra más cerca de calentarse 1,5 °C en los próximos cinco años*. [En línea] 26 de 05 de 2021. [Citado el: 28 de 05 de 2021.] <https://news.un.org/es/story/2021/05/1492492>.
7. GONZÁLEZ, Martha y otros. *Cambio Climático Mundial: Origen y consecuencias*. [En línea] 2003. [Citado el: 25 de mayo de 2021.] <https://www.redalyc.org/pdf/402/40260313.pdf>. 1405-9177.
8. VARGAS, Paola. *El Cambio Climático y sus efectos en el Perú*. [En línea] 2009. [Citado el: 20 de abril de 2021.] <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Documentos-de-Trabajo/2009/Documento-de-Trabajo-14-2009.pdf>.
9. LAVADO-CASIMIRO, W. y ESPINOZA, J. *Impactos de El Niño y La Niña en las Lluvias del Perú (1965-2007)*. [En línea] junio de 2014. [Citado el: 12 de mayo de 2021.] https://www.researchgate.net/publication/269606560_Impactos_de_El_Niño_y_La_Niña_en_las_lluvias_del_Peru_1965-2007.
10. GIRALDO, Camilo. “Análisis de la variabilidad climática de precipitación, temperatura, radiación solar y nubosidad y su incidencia en los caudales medios del río Fonse en San Gil (Santander)”. [En línea] julio de 2015. [Citado el: 15 de mayo de 2021.] <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6228/PROYECTO%20DE%20GRADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
11. BALCÁZAR, F. y LOZANO, C. *Determinación de la variabilidad climática y cambio climático mediante el análisis de la temperatura y la precipitación en el distrito de Contumazá durante el período 1965 - 2018*. [En línea] 2019. [Citado el: 18 de mayo de 2021.]

<http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/1296/TESIS%20UPAGU%20Fiorella%20Balcazar%20Ruiz%20y%20Cristhian%20Lozano%20Hernandez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

12. DEL SALTO, M., GÁLVEZ, H. y REGALADO, J. *Análisis del comportamiento climático de los últimos 30 años, en las costas de Esmeraldas, Manta y Puerto Bolívar durante la época Húmeda*. [En línea] 2013. [Citado el: 16 de mayo de 2021.] https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta18/OCE1801_1.pdf.
13. MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Tercera comunicación sobre el Cambio Climático en el Perú*. [En línea] 2016. [Citado el: 27 de abril de 2021.] <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/tercera-comunicacion-nacional-peru-convencion-marco-las-naciones#:~:text=El%20Per%C3%BA%20es%20pa%C3%ADs%20Parte,de%20gases%20de%20efecto%20invernadero>.
14. BROWN, O. y otros. *El cambio climático y sus evidencias en las precipitaciones*. Cuba: s.n., 2014.
15. DÍAZ, D. *El Cambio Climático*. Santo Domingo, República Dominicana: Ciencia y Sociedad, 2012. Vol. XXXVII, 2. 0378-7680.
16. CHANCA, A. *Percepciones y Perspectivas Socioculturales de los Pobladores Sobre el Cambio Climático en Huayllahuara-Huancavelica* 2015. Huancayo, Perú: s.n., 2016.
17. ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. *Guía de prácticas climatológicas*. Suiza: s.n., 2018. 978-92-63-30100-0.
18. MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Glosario de términos*. [En línea] [Citado el: 15 de junio de 2021.] <https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/glosario-de-terminos/>.
19. NAVARRA. *Elementos y factores del clima. Tipos de climas*. [En línea] [Citado el: 14 de junio de 2021.] <http://meteo.navarra.es/definiciones/elementosFactores.cfm>.
20. CHAVARRI, E. *El Ciclo Hidrológico y la clasificación climática del Perú*. [En línea] 18 de 03 de 2004. [Citado el: 19 de abril de 2021.] <https://1library.co/document/ydjwwgjy-clase-ciclo-hidrologico-clasificacion-climatica-peru-ciclo-hidrologico.html>.
21. SAROCHAR, Horacio. *Introducción a la meteorología general*.
22. ESPINOZA, Daniel. *Análisis de tendencias climáticas en la región de la cuenca del río Sajhuaya. La Paz - Bolivia*: s.n., noviembre de 2011.
23. CASTRO, L. y CARVAJAL, Y. *Análisis de tendencia y homogeneidad de series Climatológicas*. [En línea] 2010. [Citado el: 21 de mayo de 2021.] <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434002>.
24. CARRILLO, Camilo. *Fundamentos del Análisis de Fourier* 2003.

25. SAEZ, José. *Análisis de Series de Tiempo*. [En línea] 2018. [Citado el: 16 de junio de 2021.] https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/1230/TFI%20-%20Jose_%20Ignacio%20Lo_pez%20Sa_ez.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
26. GIRALDO, Alejandro. *Evaluación de no estacionaridad de series de tiempo hidroclimatológicas en Colombia*. Bogotá: s.n., 2019.
27. SENAMHI. *Protocolo para la instalación y operación de estaciones meteorológicas, agrometeorológicas e hidrológicas*. Lima: s.n., 2013.
28. SANCHÉZ, Fabio. *Fundamentos Epistémicos de la Investigación Cualitativa y Cuantitativa: Consensos y Disensos*. [En línea] junio de 2019. [Citado el: 26 de abril de 2021.] <http://www.scielo.org.pe/pdf/ridu/v13n1/a08v13n1.pdf>. 2223-2516.
29. BUSCADOR.COM. [En línea] [Citado el: 3 de junio de 2021.] <https://www.buscador.com/metodo-analitico/>.
30. ARROYO, Jacinto. *¿Cómo ejecutar un plan de investigación?* 2012.
31. SAMPIERI, R. y otros. *Metodología de la Investigación*. México D.F.: Interamericana Editores, S.A., 2010. 978-607-15-0291-9.

ANEXOS

Anexo 1. Salida de Campo – Estación Meteorológica Pampa Blanca



Fotografía 1: Estación Meteorológica La Pampilla – Área total



Fotografía 2: Coordenadas Estación Meteorológica - La Pampilla



Fotografía 3: Caseta Meteorológica



Fotografía 4: Psicómetro – Estación Meteorológica La Pampilla



Fotografía 5: Marca de Psicómetro – THERMO SCHNEIDER



Fotografía 6: Pluviógrafo



Fotografía 7: Pluviómetro



Fotografía 8: Pluviógrafo y Pluviómetro



Fotografía 9: Ficha de registro de datos.



Fotografía 10: Sensores automáticos – Temperatura y Humedad.



Fotografía 11: Alrededores de la Estación Meteorológica La Pampilla

Anexo 2. Salida de Campo – Estación Meteorológica La Pampilla



Fotografía 1: Estación Meteorológica Pampa Blanca



Fotografía 3: Caseta Meteorológica



Fotografía 4: Psicómetro – Estación Meteorológica Pampa Blanca



Fotografía 7: Pluviómetro

ABRIL - 2010			MAYO - 2010			JUNIO - 2010		
MAX.	MIN.	PRECIP.	MAX.	MIN.	PRECIP.	MAX.	MIN.	PRECIP.
1- 29.6	18.0	0.0	1- 27.9	18.4	0.0	1- 21.2	16.4	0.0
2- 30.0	19.1		2- 28.4	19.8		2- 24.2	16.3	
3- 28.4	19.6		3- 26.8	16.2		3- 23.8	16.4	
4- 29.9	20.8		4- 28.4	17.8		4- 24.2	16.2	
5- 30.8	20.4		5- 28.6	19.4		5- 23.8	15.6	
6- 29.8	18.4		6- 26.8	19.2		6- 23.5	15.8	
7- 30.0	18.6		7- 26.0	18.4		7- 24.0	15.7	
8- 27.4	21.2		8- 25.9	17.8		8- 23.6	15.8	
9- 30.4	20.8		9- 25.6	17.9		9- 23.2	14.8	
10- 30.2	18.4		10- 26.2	14.6		10- 24.6	14.7	
11- 29.8	20.4		11- 26.8	15.4		11- 24.2	14.6	
12- 29.9	18.2	0.0	12- 26.4	13.2		12- 23.4	16.2	
13- 33.0	21.2		13- 27.2	16.2		13- 24.0	12.4	
14- 31.8	19.6		14- 27.6	19.2		14- 22.4	12.2	
15- 30.2	18.8		15- 24.8	20.0	0.0 T	15- 20.8	13.2	
16- 29.8	20.0		16- 22.8	18.8	7.0	16- 22.8	15.4	
17- 29.9	20.6		17- 25.0	18.2	0.0	17- 22.9	14.8	
18- 24.8	20.8		18- 25.8	18.6		18- 23.2	12.6	
19- 23.6	20.2		19- 25.6	17.8		19- 22.4	13.8	
20- 27.6	19.8		20- 27.0	19.9		20- 22.5	14.2	0.0
21- 24.8	19.9		21- 26.8	18.2		21- 23.0	11.6	
22- 22.2	19.6		22- 23.4	19.2		22- 23.2	12.6	
23- 23.2	18.3		23- 22.0	17.2		23- 22.9	14.2	
24- 23.6	18.6		24- 21.2	17.1		24- 22.4	9.7	
25- 28.4	13.6		25- 24.8	17.4		25- 22.2	11.6	
26- 26.9	15.2		26- 26.4	14.6		26- 22.6	9.9	
27- 22.8	18.4		27- 26.5	14.5		27- 18.4	15.0	0.0 T
28- 27.8	18.0		28- 20.8	15.4		28- 18.8	12.8	7.0
29- 26.4	18.6		29- 17.0	17.0	0.0	29- 21.4	13.4	0.0
30- 29.2	18.5	0.0	30- 26.8	15.8	0.0 0.4	30- 13.8	0.0	
31- 29.2	18.5	0.0	31- 25.4	16.6	0.0 0.0	31- 13.8	0.0	

20 jul. 2021 6:56:20 a. m.
 Unnamed Road
 Provincia de Islay
 Arequipa

Fotografía 10: Ficha de registro de datos de años anteriores

Anexo 3.

ANVA de la tendencia de la temperatura media mensual- estación La Pampilla

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	1	261.5922	261.5922	588.6725	< 0.0001
Error	616	273.7359	0.4444		
Total corregido	617	535.3281			

Calculado contra el modelo $Y=Media(Y)$

Parámetros del modelo de la tendencia de la temperatura media mensual – estación La Pampilla

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intercepción	-71.8550	3.5953	-19.9856	< 0.0001	-78.9156	-64.7944
Tiempo	0.0438	0.0018	24.2626	< 0.0001	0.0402	0.0473

ANVA de la tendencia de la precipitación mensual acumulada- estación La Pampilla

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	1	919.3384	919.3384	505.1095	< 0.0001
Error	664	1208.5312	1.8201		
Total corregido	665	2127.8696			

Calculado contra el modelo $Y=Media(Y)$

Parámetros del modelo de precipitación mensual acumulada – Estación La Pampilla

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intercepción	-139.5741	6.5040	-21.4597	< 0.0001	-152.3450	-126.8031
t	0.0733	0.0033	22.4746	< 0.0001	0.0669	0.0797

ANVA de la tendencia de la temperatura media mensual de la estación Pampa Blanca

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	1	107.2107	107.2107	4578.8847	< 0.0001
Error	664	15.5470	0.0234		
Total corregido	665	122.7577			

Calculado contra el modelo $Y=Media(Y)$

Parámetros del modelo de la tendencia de la temperatura media mensual de la estación Pampa Blanca

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intercepción	-29.7187	0.7377	-40.2860	< 0.0001	-31.1672	-28.2702
Tiempo	0.0250	0.0004	67.6675	< 0.0001	0.0243	0.0258

ANVA de la tendencia de la precipitación mensual acumulada de la estación Pampa Blanca

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	1	64.8967	64.8967	1582.0139	< 0.0001
Error	664	27.2383	0.0410		
Total corregido	665	92.1351			

Calculado contra el modelo $Y=Media(Y)$

Parámetros del modelo de la tendencia de la precipitación mensual acumulada de la estación Pampa Blanca

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intercepción	39.3590	0.9764	40.3089	< 0.0001	37.4418	41.2763
t	-0.0195	0.0005	-39.7745	< 0.0001	-0.0204	-0.0185