

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Efectos de la temperatura en la
precipitación como consecuencia del
cambio climático en la región Cusco
1965 - 2021**

Jenri Quirita Merma

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

ASESOR
ANIEVAL PEÑA ROJAS

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesor Anieval Peña Rojas por su apoyo constante a lo largo de este trabajo de investigación. Así mismo, agradezco a la Universidad Continental por su exigencia profesional. Por último, extiendo mi agradecimiento a todos aquellos que han sido mi soporte para concluir esta tesis.

DEDICATORIA

Primeramente, dedico este trabajo a Dios por la bendición de tener a mis padres, Victoriano Quirita Suni y Cecilia Merma Ñuñoncca y una hermosa familia, mi esposa Marely Anaya Quispe y mi hija Arya Alisson Quirita Anaya. Ellos me brindaron toda la confianza para poder llevar a cabo mis objetivos. Son el motivo principal de mi superación, tanto en el ámbito personal como profesional, para continuar siempre. Esta tesis está dedicada, también, a aquellas personas que me apoyaron de forma directa e indirecta y me enseñaron que siempre hay fuerzas para poder seguir caminando y mejorando.

Jenri Quirita Merma

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
ASESOR	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I	13
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	13
1.1 Planteamiento y formulación del problema	13
1.1.1 Planteamiento del problema.....	13
1.1.2 Formulación del problema	20
1.2 Objetivos.....	20
1.2.1 Objetivo general.....	20
1.2.2 Objetivos específicos	20
1.3 Justificación e importancia.....	21
1.4 Hipótesis	22
CAPÍTULO II	23
MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 Antecedentes de la investigación.....	23
2.2 Bases teóricas.....	29
2.2.2 Metodologías existentes para el análisis de datos	48
2.2.3 Técnicas e instrumentos de investigación	52
2.2.4 Diseño de modelo teórico conceptual	58
2.3 Definición de términos básicos	59
CAPÍTULO III	63
METODOLOGÍA.....	63
3.1 Método y alcances de la investigación.....	63
3.1.1 Método de la investigación	63

3.1.2	Tipo y nivel de la investigación	66
3.2	Diseño de la Investigación	66
3.2.1	Tipo de diseño de investigación	67
3.3	Población y muestra	67
3.3.1	Población	67
3.3.2	Muestra	67
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	70
3.4.1	Técnicas utilizadas en la recolección de datos	70
3.4.2	Instrumentos utilizados en la recolección de datos	70
CAPÍTULO IV		73
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		73
4.1	Resultados del tratamiento y análisis de la información	73
4.1.1	Característica de la temperatura media mensual de las estaciones meteorológicas de Acomayo y Granja Kayra de la región Cusco	73
	Fuente : Elaboración propia.....	77
4.1.2	Característica de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica de Acomayo de la región Cusco	78
4.1.3	Influencia de la temperatura media en la precipitación acumulada en las estaciones meteorológicas de Acomayo y de Granja Kayra de la región Cusco en los años 1965 – 2021	83
4.2	Discusión de resultados	85
CONCLUSIONES		89
RECOMENDACIONES		90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		91
ANEXOS		98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Diferencia en la temperatura media anual mundial con respecto a las condiciones preindustriales (1850-1900)	14
Figura 2	Emisiones antropogénicas globales anuales de dióxido de carbono (CO ₂)	15
Figura 3	Etapas en la generación de escenarios de cambio climático	16
Figura 4	Emisiones antropogénicas globales anuales de dióxido de carbono (CO ₂)	17
Figura 5	Valores medios mensuales de la temperatura del aire y la precipitación en el escenario actual (1971-200) y futuro (2030)	19
Figura 6	Escalas de temperaturas	39
Figura 7	Temperatura de fusión y ebulliciones 1 atm de presión atmosférica	39
Figura 8	Caseta meteorológica con termómetros en su interior	40
Figura 9	Termómetro de máxima y mínima	41
Figura 10	Lectura de datos de los termómetros	43
Figura 11	Tipos de precipitación en estado líquido	45

Figura 12	Tipos de precipitación en estado sólido	46
Figura 13	Clasificación de las precipitaciones (a) convectivo, (b) orográfico y (c) frontal	47
Figura 14	Pluviómetro estación meteorológica Granja Kayra	49
Figura 15	Pluviógrafo estación meteorológica Granja Kayra	50
Figura 16	Visita y reconocimiento de la estación meteorológica e instrumentos	65
Figura 17	Obtención de datos de temperatura y precipitación	66
Figura 18	Diseño de la investigación	68
Figura 19	Mapa político administrativo de la provincia de Cusco	70
Figura 20	Mapa político administrativo de la provincia de Acomayo	70
Figura 21	Distribución de la temperatura media de las estaciones meteorológicas de Acomayo y Granja Kayra de la región Cusco 1965-2021	75
Figura 22	Normal climática de la temperatura media para las estaciones meteorológicas de Acomayo y Granja Kayra, periodo 1965-2021...	76
Figura 23	Ajuste de la tendencia de la temperatura media de las estaciones meteorológicas de Acomayo y Granja Kayra de la región Cusco, 1965-2021	78

Figura 24	Distribución de la precipitación acumulada de las estaciones meteorológicas de Acomayo y Granja Kayra	79
Figura 25	Normal climática de la precipitación mensual acumulada (mm) para las estaciones meteorológicas Acomayo y Granja Kayra de la región Cusco, 1965-2021	80
Figura 26	Ajuste de la tendencia de la precipitación mensual acumulada de las estaciones meteorológicas de Acomayo y Granja Kayra de la región Cusco 1965-2021	82
Figura 27	Regresión lineal de la temperatura media mensual (x) y la precipitación mensual acumulada (y) de la estación climática de Acomayo de la región Cusco 1965-2021	84
Figura 28	Regresión lineal de la temperatura media y la precipitación acumulada de la estación meteorológica de Granja Kayra de la región Cusco 1965-2021	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de las variables	22
Tabla 2	Ubicación es las estaciones meteorológicas	69
Tabla 3	Estadísticos descriptivos de la temperatura media °C, estación meteorológica Acomayo	75
Tabla 4	Estadísticos descriptivos de la temperatura media °C, estación meteorológica Granja Kcayra	76
Tabla 5	Prueba de tendencia de Mann-Kendall / Prueba bilateral (Tmm): Estación Acomayo	77
Tabla 6	Prueba de tendencia de Mann-Kendall / Prueba bilateral (Tmm): Granja Kayra	77
Tabla 7	Estadísticos descriptivos de la precipitación acumulada mensual, Estación Acomayo	80
Tabla 8	Estadísticos descriptivos de la precipitación acumulada mensual, Estación Granja Kayra	80
Tabla 9	Prueba de hipótesis de Mann-Kendall / prueba bilateral (Ppm), estación Acomayo	81

Tabla 10	Prueba de hipótesis de Mann-Kendall / prueba bilateral (Ppm), estación Granja Kayra	81
Tabla 11	Análisis de varianza de la regresión entre la temperatura media y la precipitación mensual acumulada de la Estación Climática Acomayo	83
Tabla 12	Análisis de varianza de la regresión entre la temperatura media y la precipitación mensual acumulada de la Estación meteorológica Granja Kayra	84

RESUMEN

Esta tesis tuvo como objetivo determinar el efecto de la temperatura media mensual en la precipitación mensual acumulada como efecto del cambio climático en la Región Cusco. Para su desarrollo, se utilizaron los datos del portal del SENAMHI del periodo comprendido entre 1965 al 2021 de las estaciones climáticas Acomayo (A) y Granja Kayra (GK). La metodología utilizada fue el análisis descriptivo de ambas variables; así mismo, se utilizó la prueba de Mann-Kendall para tendencia y análisis de regresión para determinar el efecto de la temperatura en la precipitación. Los resultados mostraron variación estacional de la temperatura media para ambas estaciones: el promedio multianual fue 13.2°C y fluctuó entre 9.5°C a 15.9°C para A, mientras que GK presentó como promedio multianual 12.2°C y tuvo fluctuaciones entre 7.9°C a 15.3°C. Además, hubo tendencia positiva de la temperatura media mensual para ambas estaciones. En cuanto a la precipitación mensual acumulada, se mostraron periodos secos y lluviosos durante cada año. El valor más alto fue de 328.8mm/mes y el promedio anual acumulado fue de 851.3mm para A, mientras que GK registró la precipitación mensual acumulada más alta equivalente a 286.6mm (promedio anual de 679.8 mm). La precipitación mensual acumulada mostró tendencia negativa para A, mientras que no hay tendencia aparente para GK. El análisis de regresión determinó el efecto de la temperatura media sobre la precipitación. La pendiente es -13.95 para A y 5.17851 para GK, con bondades de ajuste del modelo de 50.28% y 54.9 % respectivamente.

Palabras clave: tendencia, cambio climático, precipitación

ABSTRACT

The objective of the research was to determine the effect of the average monthly temperature on the accumulated monthly precipitation because of climate change in the Cusco Region. For the development of the research, data from the SENAMHI portal from the period between 1965 to 2021 from the Acomayo (A) and Granja Kayra (GK) climatic stations was used. The methodology used was the descriptive analyzes of both variables, as well as the Mann-Kendall test for trend and regression analysis to determine the effect of temperature on precipitation. The results showed season variation of the mean temperature for both stations, the multiyear average was 13.2°C, and fluctuated between 9.5°C to 15.9°C for (A), while (GK) presented 12.2°C as multi-year average and had fluctuations between 7.9°C to 15.3°C. There is a positive trend in the mean monthly temperature for both stations. Regarding the accumulated monthly precipitation, it showed a dry and rainy period during each year, the highest registered value was 328.8mm/month and the accumulated annual average was 851.3mm for (A); likewise (GK) registered the highest accumulated monthly precipitation for equivalent to 286.6mm and the annual average for this station was 679.8mm. The accumulated monthly precipitation showed a negative trend for (A), while there was no apparent trend for (GK). The regression analysis determined the effect of the mean temperature on precipitation, the slope was (-13.95) for (A) and (5.17851) for (GK), with goodness of fit of the model 50.28% and 54.9% respectively.

Keywords: trend, climate change, precipitation

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las condiciones actuales del planeta no son las mejores. Este hábitat paradisiaco del que teníamos referencia va desapareciendo a una velocidad vertiginosa para la sobrevivencia humana. Las mega tendencias del uso de la energía, cambios del uso de la tierra, etc., han originado la degradación del medioambiente, y extinción de plantas y animales. A ello, se suma el cambio climático que está afectando a toda la humanidad, pero sobre todo a las poblaciones más vulnerables.

El cambio climático no solo tiene relación directa con la temperatura sino también en los patrones de las precipitaciones. Se han encontrado incrementos significativos de la temperatura media para las estaciones meteorológicas de Chile para un periodo de análisis de 1931-2001 (1). Así mismo, se han comprobado, a través de la construcción de modelos bajo posibles escenarios, descensos de la precipitación en Bogotá (1). Por otro lado, el Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) indicó que la temperatura media del aire en la superficie terrestre aumentó 1,53°C en referencia a 1850-1900.

En ese escenario global, la región Cusco tuvo un índice de pobreza total para el 2010 de 31.3% y pobreza extrema de 27.8%; así mismo, Cusco se caracteriza por ser agrario. La participación de la agricultura es en promedio de 45%, es decir, la mitad de la población económica activa (PEA) y contribuye con la cuarta parte del PBI regional; sin embargo, la actividad agrícola es muy sensible al clima. En tal sentido, se ha planteado esta investigación con el objetivo de determinar el efecto de la temperatura en la precipitación como consecuencia del cambio climático en la Región Cusco.

Esta investigación se divide en cuatro capítulos. El primer capítulo detalla la caracterización del problema, los objetivos, se justifica la investigación, se plantea la hipótesis y se describen las variables. En el segundo capítulo, se mencionan los antecedentes internacionales y nacionales de la investigación; se presentan, también, los fundamentos teóricos, las metodologías existentes para el análisis, se muestra el diseño teórico conceptual y la definición de los términos básicos. El

capítulo tercero describe el método de investigación, los alcances; así mismo, se describe el diseño de la investigación, la población y la muestra, las técnicas utilizadas en la recolección de los datos y el procesamiento de la información. Finalmente, en el cuarto capítulo se presentan los resultados y la discusión. Del mismo modo se presentan las conclusiones, recomendaciones y la bibliografía utilizada en la investigación

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

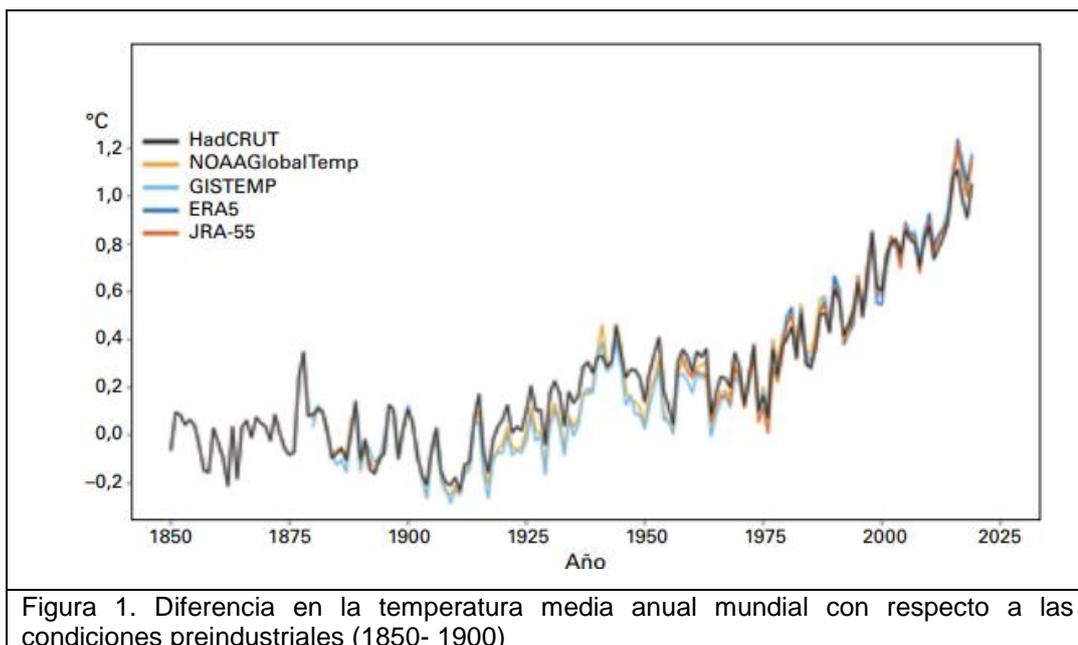
1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

El cambio climático es el mayor problema del siglo XXI y genera impactos en la salud y la economía de forma directa (olas de calor, sequías, y aumento del nivel del mar) y de forma indirecta (enfermedades respiratorias, inseguridad alimentaria, desnutrición, migraciones, etc.). Asimismo, se ha reportado que han aumentado los estándares de las temperaturas medias de los últimos periodos quinquenal (2015-2019) y decenal (2010-2019), y se prevé que esto seguirá creciendo.

La comunidad internacional señala, que el estado del clima mundial para el último quinquenio se debe, esencialmente, a los gases de efecto invernadero en la atmósfera, cuyos niveles alcanzaron una concentración mundial de CO₂ por encima de 400 partes por millón. Por otro lado, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) señaló que los efectos se han intensificado durante los años 2015 al 2019; así mismo, el 2019 fue el segundo año más cálido registrado, solo superado por el 2016 (1). En ese sentido, en 2019 la temperatura media anual registró un valor de $1,1 \pm 0,1$ °C, más alta que la media del periodo 1850 – 1900, intervalo de tiempo característico de la preindustria.

Pese a todo, el año 2016 se registra como el más cálido, como consecuencia del Fenómeno de El Niño. Además, según los resultados obtenidos a partir de la evaluación de cinco modelos aplicados a los datos sobre la temperatura mundial, el año 2019 ocupa el segundo lugar o tercer lugar en cuanto a mayor temperatura (Figura 1). La dispersión de la evaluación a partir de los cinco modelos aplicados resuelve. Según las estimaciones, estas oscilan en niveles de 1,05°C y 1,18°C en la temperatura mundial (2).



Fuente: (1)

Por otro lado, el contenido calorífico de los océanos ha alcanzado niveles sin precedentes, como señala Tetterri Taalas. Si esto continúa a finales del siglo la temperatura media mundial incrementará de 3 a 5 grados Celsius. Además, el almacenamiento en los océanos del más del 90% de la energía acumulada, originará el aumento de las temperaturas y del nivel del mar, pero también la absorción de las emisiones antropogénicas de CO₂ ha modificado su acidez aumentando en un 26% con respecto al periodo del inicio de la revolución industrial (3). De acuerdo con evaluaciones realizadas en los tres primeros trimestres del 2015, a profundidades de 700 a 2000 metros de profundidad en el Océano Pacífico, el contenido calorífico mundial se ha incrementado. El Pacífico tropical sobrepasó el promedio, superando en 1°C de temperatura al Pacífico ecuatorial central y oriental. No obstante, las zonas al sur de Groenlandia y el suroeste del Atlántico han alcanzado temperaturas más altas que el promedio (4).

De acuerdo con el informe del IPCC – 2014, desde el año 1970, los niveles emisión de CO₂ en el sector industrial, producción de cemento y la quema de antorchas se ha triplicado; así mismo, los sectores de silvicultura y otros usos de suelo han ido en aumento con niveles de hasta el 40%. En

el 2011 las emisiones anuales llegaron a registrar $34,8 \pm 2,9$ GtCO₂/año (Figura 2). Este informe revela que los niveles de los gases de efecto invernadero se están produciendo de manera descontrolada por los diferentes sectores; dentro de ello, los eventos que puedan suceder son catastróficos si no se lleva a tomar medidas de mitigación en a corto plazo (5).

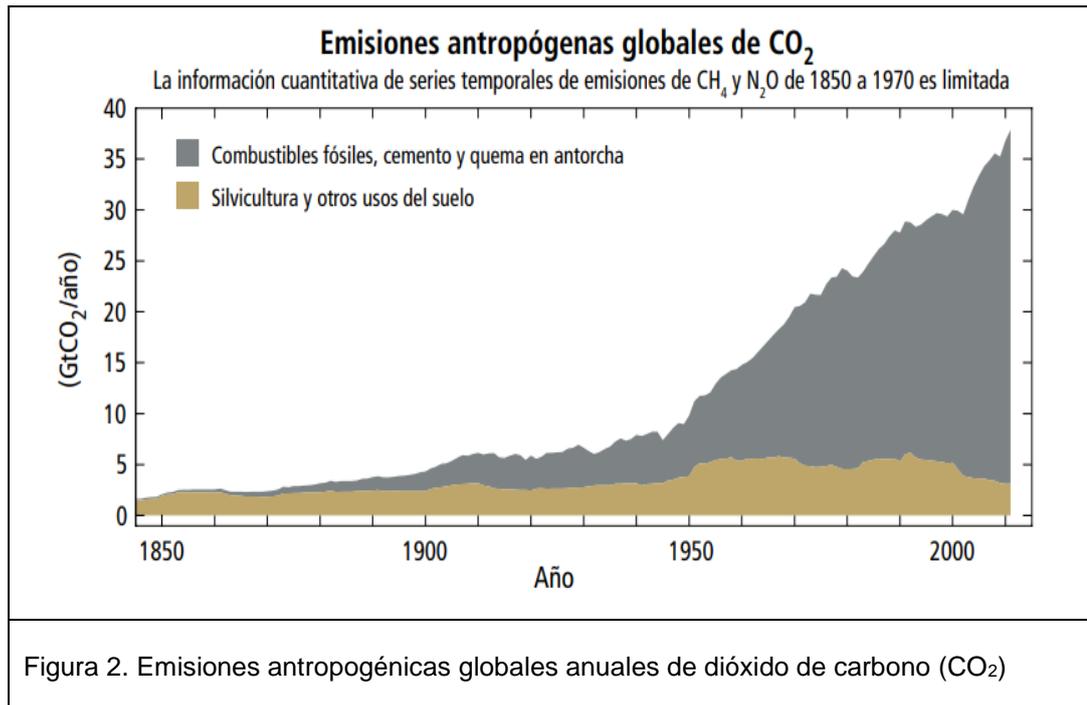
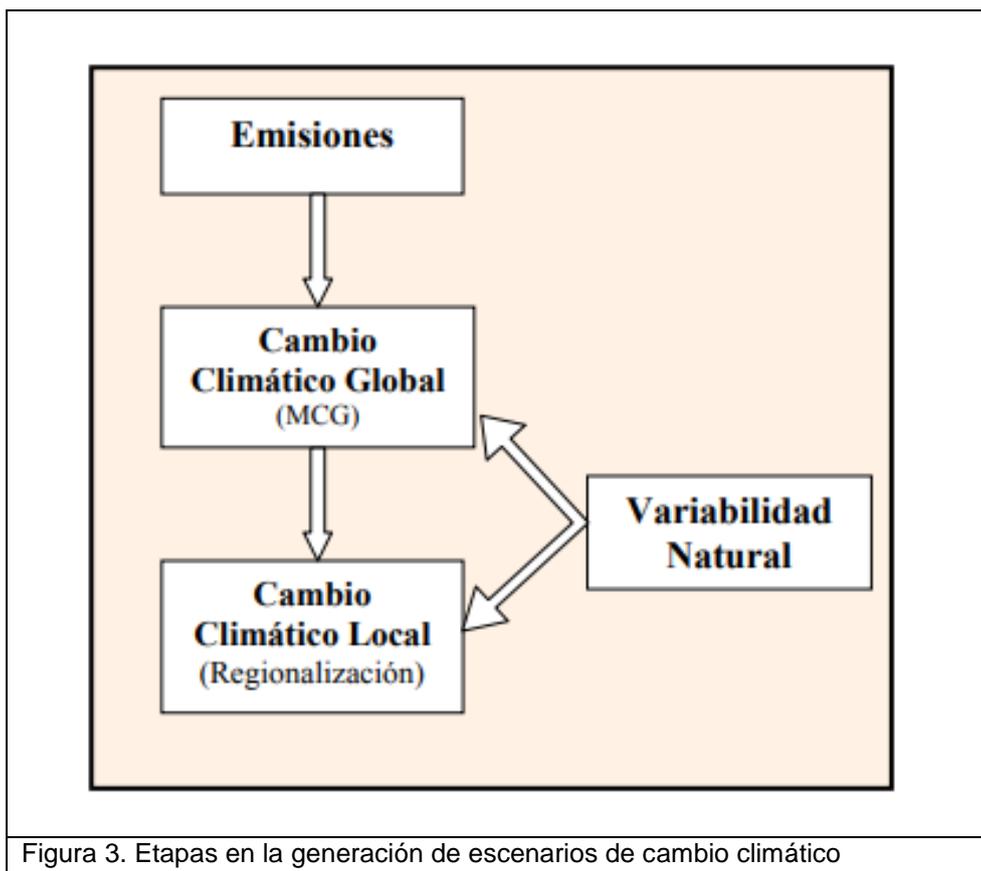


Figura 2. Emisiones antropogénicas globales anuales de dióxido de carbono (CO₂)

Fuente: (5)

De acuerdo con el Informe del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), en los últimos 50 años, el principal factor del calentamiento global es la emanación descontrolada de los gases de efecto invernadero, cuyas consecuencias en los escenarios de impactos que se producirán no se sabe con exactitud cómo serán sus comportamientos en el país (6).



Fuente: (6)

El calentamiento global viene impactando al clima a nivel mundial. En el 2014, diecinueve países en Europa registraron temperaturas sin precedentes; también se presentaron inundaciones en Serbia, Bosnia, Bangladesh, Pakistan e India (7).

Durante el periodo 2015- 2019, más del 90% de los desastres naturales ocurridos fueron tormentas e inundaciones. Estos ocasionaron cuantiosas pérdidas económicas, que afectaron directamente el sector agrícola. Estos desastres ocurridos afectan directamente a las poblaciones vulnerables (personas de bajos recursos económicos, ancianos y niños), los cuales se encuentran en países o regiones menos protegidos. Las consecuencias ocasionadas tienen periodos largo alcance como escasés de agua y migraciones forzadas; además, estos fenómenos traerán cambios medioambientales mundiales, que afectarán la biodiversidad y la estabilidad

de los ecosistemas viéndose cada vez más amenazada, por la falta de la seguridad hídrica (8).

Según el Quinto Informe de la IPCC- 2014, los cambios climáticos causaron grandes impactos en los sistemas humanos y naturales. El nivel de morbilidad y mortalidad han aumentado; así mismo, se han generado apariciones de enfermedades. Por otro lado, se considera que en América Latina el ser humano es el segundo factor que impulsa el cambio climático, ya que origina el 17 a 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero, altera los ecosistemas costeros y marinos; en consecuencia, desaparecen los manglares de la costa norte de América Latina (Figura 4) (5).

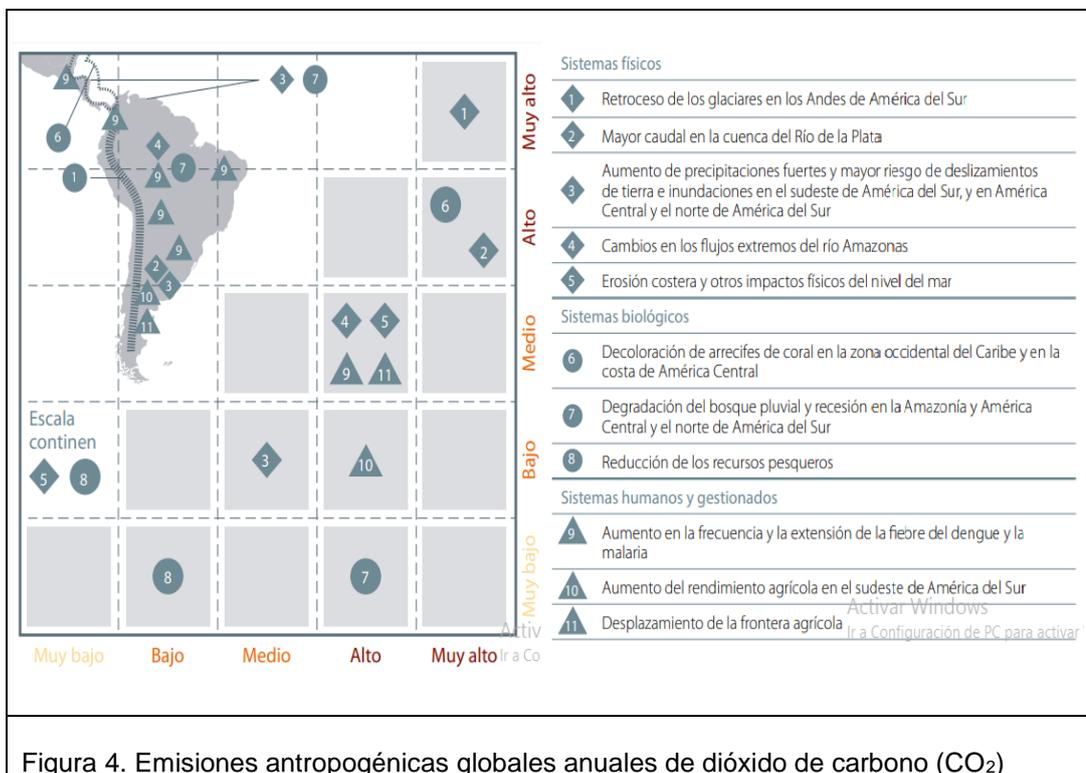


Figura 4. Emisiones antropogénicas globales anuales de dióxido de carbono (CO₂)

Fuente: (5)

Así mismo, uno de los efectos más significativos del cambio climático está relacionado con el desequilibrio de los recursos hídricos. Hay una relación directa entre el clima y el ciclo hidrológico, ya que el primero depende de las variables relevantes (humedad y precipitación). Eso significa, además, que el aumento de la temperatura producirá un impacto en el ciclo hidrológico a nivel mundial (9).

El Perú, desde el año 1985 al 2006, tuvo tendencias de incremento de precipitaciones. Según el SENAMHI (2013), los valores que aumentaron en la costa norte tuvieron un porcentaje de 30 a 40% y en selva norte de 20 a 30%. Además, durante los últimos 40 años, las precipitaciones fueron más periódicas y las mayores en la sierra central y el sur se muestran un incremento de precipitación similar. Así mismo, hay incremento de la temperatura media y se atribuye por influencia antropogénica como el parque automotor, uso de combustible fósil, crecimiento de ciudades, cambios de uso de suelos entre otros, que originan comportamientos diferenciados en la temperatura (10).

Además, los estudios señalan que, si se registraran aumentos de más de 5°C, habría pérdidas de hasta 20%. Esto se daría en lugares que registran mayor acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) como África, el Sur y el Sur Este de Asia y América Latina. Así mismo, las variaciones climáticas han afectado de manera simultánea la salud, agricultura, transporte, infraestructura, entre otros. Estos eventos reportados dan cuenta como consecuencia en la valoración económica de los daños sufridos en el país (12).

El SENAMHI en su informe del 2011 señaló que en la región Cusco, en un futuro no muy lejano proyectado hacia el año 2030, se presentará un cambio climático más severo; este se evidenciará en un aumento de temperatura de hasta 1,3°C; así mismo, las precipitaciones sufrirían aumentos en porcentajes de 8 a 16%, (Figura 5). Estos cambios afectarán al sector agrícola tanto en la siembra, labores culturales y cosecha (13).

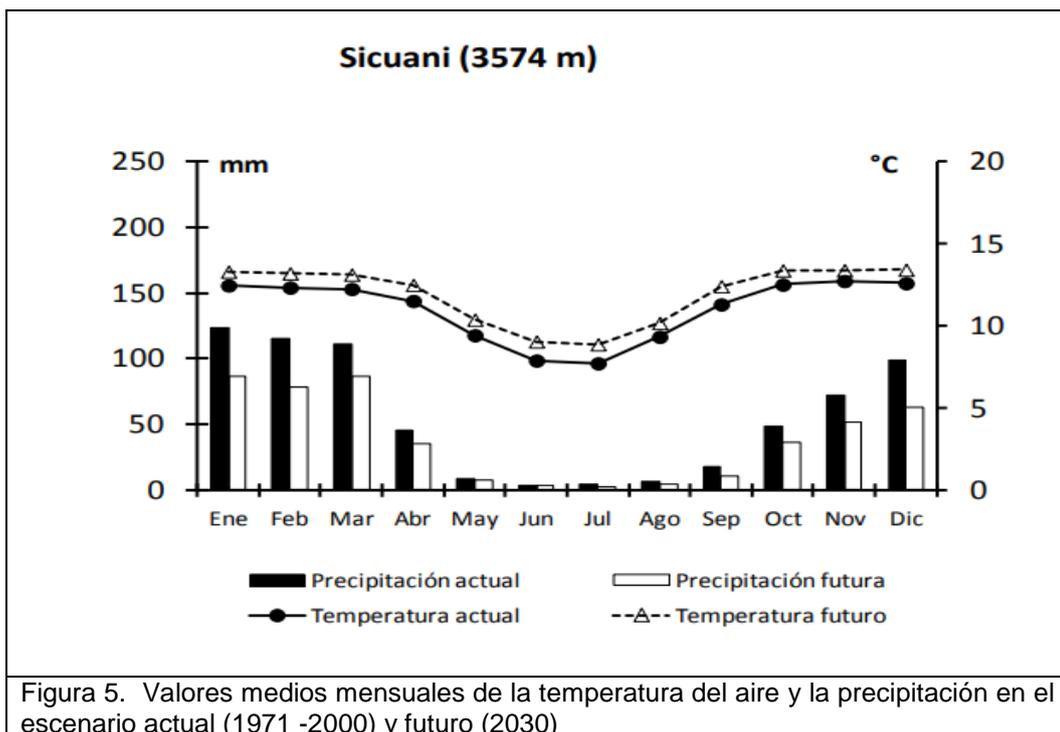


Figura 5. Valores medios mensuales de la temperatura del aire y la precipitación en el escenario actual (1971 -2000) y futuro (2030)

Fuente: (13)

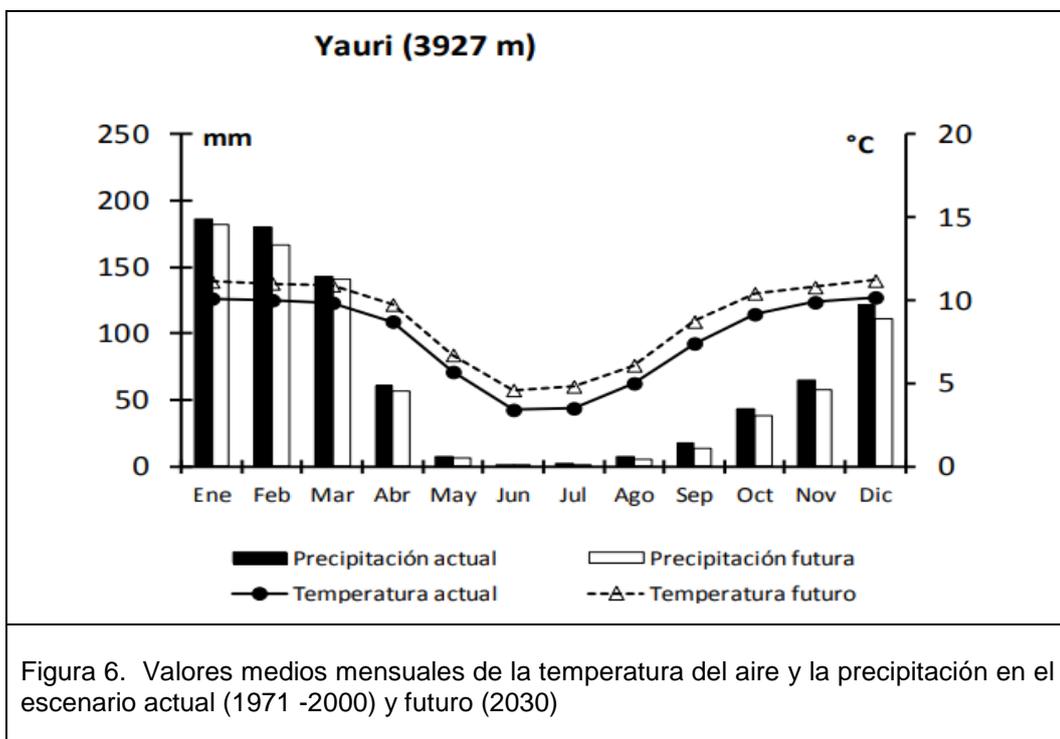


Figura 6. Valores medios mensuales de la temperatura del aire y la precipitación en el escenario actual (1971 -2000) y futuro (2030)

Fuente: (13)

En la Región Cusco, en los últimos años, se ha registrado variación en la temperatura como también en la intensidad y frecuencia de las precipitaciones registradas, manifestados a través de eventos de inundaciones y heladas que han impactado la agricultura y la salud, por lo que es una necesidad realizar el estudio del comportamiento de la temperatura y la precipitación en el contexto del cambio climático.

1.1.2 Formulación del problema

A) Problema general

¿Cómo la temperatura media mensual influye en la precipitación mensual acumulada en las estaciones climatológicas de Granja Kayra y Acomayo de la región Cusco 1965 - 2021?

B) Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características de la temperatura media mensual en las estaciones climáticas de Acomayo y Granja Kayra de la región Cusco?
- ¿Cuáles son las características de la precipitación mensual acumulada en las estaciones climáticas de Acomayo y Granja Kayra de la región Cusco?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar los efectos de la temperatura media mensual en la precipitación mensual acumulada en la región Cusco 1965 – 2021

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar las características de la temperatura media mensual en las estaciones climáticas en la región Cusco 1965 - 2021

- Determinar las características de la precipitación mensual acumulada de las estaciones climáticas en la región Cusco 1965 - 2021

1.3 Justificación e importancia

Académica

El Perú tiene 8 regiones naturales y 38 tipos de climas, según la clasificación climática de Thornthwate, de los cuales el departamento de Cusco presenta 7 regiones naturales y 16 tipos de clima. Este estudio en forma localizada contribuirá en la comprensión del comportamiento de las variables meteorológicas (temperatura y precipitación); en ese sentido, ayudará a los estudiantes e investigadores del país a la comprensión de estos fenómenos.

Social

La investigación es importante porque las localidades de San Jerónimo y Acomayo muestran vulnerabilidad ante variaciones climáticas drásticas. Una evidencia de ello son las pérdidas económicas durante el fenómeno de El Niño; así mismo, la vulnerabilidad está asociada a la alta dependencia a los sectores primarios como el agrícola y pecuario que son dependientes del clima. En tal sentido, la investigación aportará información a la sociedad civil y tomadores de decisiones en la planificación y ejecución de acciones concretas de adaptación al cambio climático.

Ambiental

En Cusco, debido a la compleja orografía, diferentes pisos altitudinales, orientaciones, exposiciones y pendientes, con una gran diversidad geológica, permiten la existencia de una gran biodiversidad natural y agrobiodiversidad; sin embargo, la variabilidad extrema de la temperatura y la precipitación en el contexto del cambio climático afecta a la flora y fauna que, en muchos casos, son endémicas de parte del país. El estudio

contribuirá a que los líderes ambientales tomen mejores decisiones que mitiguen dichos impactos.

1.4 Hipótesis

Hipótesis Alterna

El efecto de la temperatura media influye en la precipitación como consecuencia del cambio climático en la región Cusco de 1965 – 2021.

Hipótesis Nula

El efecto de la temperatura media no influye en la precipitación como consecuencia del cambio climático en la región Cusco de 1965 – 2021.

1.5 Descripción de variables

Tabla 1. Operacionalización de las variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
Variable Dependiente: Precipitación	Cantidad de agua meteórica que cae sobre la superficie terrestre	Precipitación total mensual acumulada	Milímetros (mm)	Registro documental Planilla climática
Variable Independiente: Temperatura	Es un indicativo del calentamiento o enfriamiento del aire que resulta del intercambio de calor entre la atmósfera y la tierra (14)	Temperatura media mensual	Grados Celsius (°C)	Registro documental Planilla climática

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.

Artículos científicos

EL artículo científico titulado “Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad y cambio climático en el distrito metropolitano de Quito” tuvo como objetivo establecer el impacto que ha tenido el cambio y la variabilidad climática sobre el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) y sus alrededores en los últimos años. La metodología consistió en realizar dos tipos de análisis de tendencias de 30 años a partir de datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). El primero buscó evidenciar cambios graduales, a través del análisis de datos mensuales de temperaturas máximas, mínimas, precipitación, heliofanía, humedad relativa y nubosidad, utilizando una regresión lineal por el método de mínimos cuadrados más una prueba F para determinar su significancia estadística. El segundo estudio se realizó con el objetivo de analizar el comportamiento de los eventos extremos, sobre datos diarios en las variables de temperaturas máximas, mínimas y de precipitación, a través del paquete computacional RCLimDex para el cálculo de índices de cambio climático recomendados por el Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ECTCCDI). Los resultados mostraron incrementos de 0.12°C respecto a la temperatura anual. De igual forma, se mostraron incrementos en las tendencias y comportamientos anómalos como consecuencia de las variabilidades climáticas (15).

En el artículo científico titulado “Tendencias recientes e índices de cambio climático de la temperatura y la precipitación en Andorra, Pirineos (1935-

2008)” buscó precisar, a partir del análisis de tres series climáticas situadas entre los 1140 y los 1645 m.s.n.m., las tendencias anuales y estacionales de la temperatura máxima, temperatura mínima y la precipitación en el Principado de Andorra (Pirineos) en el periodo 1935-2008 y el sub-período 1950-2008. Después de dichos análisis, se confirmó el incremento significativo de la temperatura del aire para la temperatura máxima media anual (0.13 a 0.15 °C / década), para la máxima estival (0,22 °C / década) y la mínima estival (0.11°C / década). A partir de las mismas series a resolución diaria se calcularon los índices de cambio climático definidos por el Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices (ECTCCDI). Los resultados son una clara evidencia del índice del cambio climático que se está registrando y sobre los posibles comportamientos extremos climáticos que pueden generar en el futuro (16).

El artículo científico titulado “Tendencia de las precipitaciones y temperaturas en una pequeña cuenca fluvial del Sureste peninsular semiárido” evidenció una tendencia al aumento de temperaturas y a la disminución de precipitaciones en la Cuenca del Río Quípar, en el Sureste de la Península Ibérica. La estación del año que presenta mayores cambios climatológicos es verano; en los últimos 15 veranos, nueve de ellos registraron ser los más secos, lo que supone una importante disminución de precipitaciones en la cuenca. El registro muestra solo un 44,2 mm de media, que representa un 12,5% de la precipitación anual. Por otro lado, la temperatura en las estaciones de otoño y primavera no registraron aumentos ni descensos considerables, lo contrario a las estaciones de invierno y verano, donde, en algunas zonas aledañas a la cuenca, se registran temperaturas ascendentes y descendentes. Esto podría incidir en una menor disponibilidad de agua para los distintos usos (17).

En el artículo titulado “Análisis de las variaciones anuales de precipitación en el suroeste bonaerense, Argentina” tuvo como objetivo analizar cuánto

varían anualmente las precipitaciones en el Suroeste de Buenos Aires en el período 1970-2008. Los resultados mostraron una variabilidad total de precipitaciones caídas, donde históricamente hubo registros de precipitaciones que superaron los 1.000 mm (1919, 1976 y 1992); también se registraron valores de 300 mm como el del año 192. La más reciente se dio en el 2008 con un valor de 383 mm. Estos datos muestran la importante dispersión de los valores de las precipitaciones registradas. Se concluye que estas variabilidades climáticas no solo son causadas por circunstancias locales, sino que, a su vez, se correlacionan con los fenómenos globales (18).

En el artículo científico titulado “Análisis de tendencias de precipitación (1920–2004) en México” se utilizó la prueba no paramétrica de Mann–Kendall con el fin de estudiar 789 estaciones climatológicas en México. Se llegó a la conclusión de que, con respecto a la precipitación total anual (PPTA), la lluvia aumenta en 1.8% en las regiones áridas y semiáridas y sólo 0.9% en las regiones húmedas. Además, disminuye en 1.2% en regiones secas y húmedas. Asimismo, en las regiones áridas y semiáridas del país se encuentra el mayor número de estaciones climatológicas con tendencias anuales de incremento de lluvia ($p \leq 0.1$) (19).

El artículo científico denominado “Evaluación del Modelo Climático Global MIROC5 y estimaciones de temperatura y precipitaciones para las zonas sur y norte del Perú” tuvo como objetivo evaluar los resultados del Modelo Climático Global MIROC5 para Perú para prever los futuros comportamientos de la temperatura y las precipitaciones para las zonas sur y norte del Perú hacia el 2030, 2070 y 2100. Los resultados señalan que las precipitaciones se incrementarán en la zona norte del país (27,6 % hacia 2100) y disminuirán en el sur. En cuanto a Iquitos, su incremento de temperatura llegaría a ser de 0,2 y 0,5°C proyectada de igual manera para el año 2030. Todo ello afectaría directamente a las actividades de agricultura y ganadería, por lo que se estima un cambio climático severo en todo el Perú (20).

El artículo científico “Efectos de las anomalías climáticas en la cobertura de nieve de los glaciares centrales del Perú” buscó analizar las irregularidades climáticas de los glaciares centrales del Perú. Para ello, se utilizó el índice de precipitación estandarizada de Fourier. Se concluye que existen cuatro irregularidades negativas en los años 1991, 1986, 2005 y 2009 y tres irregularidades positivas en los años 1985, 2010 que detonaron el daño del glaciar Huaytapallana (21).

Tesis nacionales e internacionales

La tesis titulada *Proyección de la variación de la temperatura y la precipitación ante Cambio Climático para Bogotá* tuvo como objetivo la construcción de un modelo de posibles escenarios de cambio climático que puedan generarse en el periodo 2011 al 2100 tomando como referencia al periodo 1971 a 2010 para las variables de temperatura y precipitación. La metodología se enfocó en 4 etapas claves. En la primera etapa, se elaboraron las bases de datos; en la segunda, se analizó el comportamiento de las variables; en la tercera, se determinaron las variables climáticas; y en la cuarta, se elaboraron los escenarios de Cambio Climático para ambas variables. Los resultados mostraron para el periodo 1971-2010 precipitaciones de 1000 mm y 2500 mm. Estos registros descenderían a 20100 para los años 2011 a 2061 y 2091 con registros de solo 500 mm y 100 mm, respectivamente. Así mismo, las temperaturas máxima y media para el periodo 2011 a 2100 registran aumentos por encima de 1°C a 3°C, mientras que la temperatura mínima aumentó por encima de 0.8°C a 2°C. Estos posibles cambios climatológicos que se proyectan para la zona de estudio afectarán de manera directa a la población. Se prevé que estas variabilidades climáticas generarían climas áridos, lo cual afectaría el valor del suelo y la agricultura (22).

La tesis de Liliana Pezoa buscó recopilar, validar y analizar la temperatura de 37 años (para la precipitación, se tomaron registros de 71 años). Como resultado se obtuvo que las estaciones meteorológicas del norte están expuestas al calentamiento. Además, los períodos más fríos ocurren entre los años 1965-1976, mientras que en el año 1977-1999 las temperaturas aumentan ligeramente. Por otro lado, al sur la tendencia es al enfriamiento (45° y hasta los 53° S). Se concluye que en el año con mayor precipitaciones anuales fue 1997 y el de mayor sequía 1998 (23).

La investigación de Balcázar y Lozano buscó analizar la variación interanual del clima, en el distrito de Contumazá desde 1965 hasta 2018 a través de un estudio de tipo descriptivo basado en diferentes de la estación Climatológica Ordinaria Contumazá. Una de las principales conclusiones es que en los diferentes años hay gran variación climatológica (24).

En la tesis titulada *Análisis de tendencias de precipitación y temperatura (1970–2017) en la ciudad de puerto Maldonado, Perú*, se efectuó el análisis de la temperatura y precipitación, utilizando series de temperatura máxima, media, mínima y la precipitación para el periodo de 1970 a 2017. Los datos meteorológicos fueron registrados de la estación de Puerto Maldonado y la base de datos climatológicos modelados de 1981 a 2015 de Pisco del SENAMHI. Además, se usó el test de Mann Kendall y el test de Pettitt para determinar las tendencias climatológicas. En los registros climatológicos, se encontraron incrementos significativos de la temperatura máxima de 2.34°C y la temperatura media 2.40°C. Por su lado, la temperatura mínima y la precipitación no registraron cambios significativos durante el periodo de 1970 a 2017. Por otro lado, los datos climatológicos modelados registraron incrementos significativos en la temperatura máxima de 0.49°C, media 0.47°C y mínima de 0.49 respecto al periodo de 1981 a 2015. La precipitación no mostró ningún tipo de tendencia para ese periodo de estudio. El trabajo concluye que hay una tendencia positiva de la

temperatura, mientras que en la precipitación no se muestra dicha tendencia (25).

En la tesis doctoral titulada *Fenómeno el niño y su relación con la variabilidad climática en la provincia de Cusco, periodo 1964 – 2014* se buscó analizar la relación entre las variables “Fenómeno de El Niño” y variabilidad climática. Para ello, se examinaron los datos del SENAMHI de la estación de Kayra y los datos del Índice Costero El Niño (ICEN) del Instituto Geofísico del Perú. Los datos fueron evaluados utilizando técnicas estadísticas descriptivas. Luego, se compararon las medias con la prueba de T-student. Se demostró que la precipitación tiende a disminuir en presencia de El Niño de febrero a noviembre. En ese sentido, se determinó que la relación significativa entre la precipitación y el índice costero El Niño es de 95%; asimismo, se concluyó que en enero se observan valores anómalos de precipitación. Los comportamientos de la temperatura media y mínima en el periodo de julio a febrero se incrementan y en el periodo de marzo a junio tienden a disminuir con o sin presencia del El Niño, cuya correlación es de 0.53. La temperatura máxima va a aumentar conforme aumente la magnitud de El Niño, siendo la máxima en octubre cuya correlación con el comportamiento del ICEN es del 0.996 (26).

Artículos de divulgación

En el artículo titulado “Comportamiento de los gases de efecto invernadero y las temperaturas atmosféricas con sus escenarios de incremento potencial” se explica que, en los últimos decenios, las malas prácticas humanas han aumentado los gases de efecto invernadero. Por esa razón, esta investigación analizó cómo se comportaban las concentraciones de los principales GEI y el de las temperaturas atmosféricas, a través de las épocas para proyectarlas al 2100. Se concluyó que los principales gases de efecto invernadero GEI como el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso han aumentado en porcentajes críticos, a causa de las actividades humanas. (27).

El artículo titulado “El cambio climático y sus implicaciones en la salud humana” buscó dejar en evidencia la relación entre cambio climático y salud humana. Además, se señaló que estos efectos pueden ser diversos e irreversibles. El trabajo concluye que todos los impactos producidos por el cambio climático en la salud pública van a determinarse según escalas espaciales y temporales, y estos dependerán de las condiciones socioeconómicas y ambientales cambiantes que se registren. En ese sentido, para poder evitar que los eventos sean aún más catastróficos, se debe de participar activamente en las acciones de investigación e identificación en los posibles riesgos o efectos para la salud humana, dado que la influencia del cambio climático en la salud pública es de forma directa (28).

El artículo titulado “Incidencia de apendicitis aguda y su relación con factores ambientales” tuvo como objetivo determinar de qué manera, a partir del análisis de grupos múltiples, la apendicitis puede ser un efecto de la temperatura. Se concluyó que si esta sigue aumentando, las enfermedades o epidemias seguirán afectando aún más a la población. Además, las poblaciones vulnerables se verán expuestas a estos problemas. Finalmente, la temperatura ambiental que registra en cada región nos indica que su incidencia en la región de Cusco es de 7.3 por cada 10 000 habitantes (29).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Clima

El clima es el resultado de la interacción de las variables atmosféricas (elementos climáticos) como la radiación solar, temperatura, lluvia, humedad relativa, presión atmosférica y viento, conjuntamente con las características (factores del clima) de un lugar determinado como la altitud y la posición geográfica, la vegetación, proximidad a océanos y lagos, hidrografía y montañas, entre otros (30). Así mismo, el Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) en su quinto informe señala que el

clima es la descripción estadística del tiempo atmosférico, en términos de valores medios y de su variabilidad; el periodo para determinar el clima del lugar debe ser mayor a 30 años de acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (30).

Además, las estaciones del año son la expresión del clima del lugar. En algunos lugares las estaciones se manifiestan en la variación de la temperatura media durante el año: verano (calor), otoño, invierno (frío), primavera. En zonas intertropicales como Perú, las estaciones están marcadas por la precipitación (estación lluviosa – estación seca). En el estudio del clima, se utiliza el concepto de patrón climatológico para caracterizar el clima de una región. Así mismo, las condiciones atmosféricas predominantes durante un periodo conocidas como clima están determinadas por factores radiactivos forzantes (radiación solar y efecto invernadero) y por la interacción entre los componentes del sistema tierra (atmósfera, hidrósfera, litósfera, biósfera y antropósfera) (31).

El clima del Perú

Dada la localización latitudinal del Perú (dentro de la zona intertropical), este debería tener un clima cálido, húmedo y lluvioso, y la Costa, Sierra y Selva estarían cubiertas de abundante vegetación. Sin embargo, debido a los factores que lo modifican, el Perú presenta una gran variedad de climas, que se han clasificado de distintas maneras (Hipólito Unanue, Antonio Raimondi, Isaías Bowman, Weberbauer, Nicholson, Pulgar Vidal, Carlos Peñaherrera del Águila, INRENA, entre otros); en general, el país posee 28 de los 34 climas del mundo y 84 de las 114 zonas de vida reconocidas a nivel mundial

Los factores determinantes para el clima del Perú son la cordillera de los Andes, la corriente oceánica peruana, el anticiclón del Pacífico Sur y el Ciclón Ecuatorial. De ellos, la Cordillera de los Andes es el que más efecto ocasiona, pues, al atravesar al Perú en toda su longitud, 1) forma una barrera natural, que impide el ingreso de las nubes cúmulo nimbos procedentes del

sector oriental que, al no llegar a ingresar, precipitan en el flanco oriental andino; y 2) su desplazamiento altitudinal modifica las condiciones de temperatura, humedad, precipitación, insolación, evaporación y nubosidad, que generan climas de manera transversal y longitudinal. Esta diversidad de climas a diversas escalas complica el estudio del impacto del cambio climático en nuestro territorio, lo que impide hablar de un efecto central del Cambio Climático (32).

Variabilidad climática

Según el Grupo Intergubernamental de Cambio Climático, se denomina variabilidad climática a las variaciones del rango medio de las condiciones climáticas y otras estadísticas del clima (como desviaciones típicas, fenómenos extremos, etc.) en un espacio geográfico a lo largo del tiempo. Dicha variabilidad se atribuye a procesos naturales internos que ocurren dentro del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones en el forzamiento externo natural o antropogénico (variabilidad externa) (citado en 30).

Además, la variabilidad presenta ciclos y fluctuaciones de diversa duración que se encuentran por encima o por debajo de la normal climática (temperatura del aire, precipitación, etc.); esta secuencia de oscilaciones que están fuera de los valores normales se conoce como variabilidad climática y su valoración se logra mediante la determinación de las anomalías. Estas tienen periodos de meses, años y decenios, lo que evidencia la variabilidad climática a escales intraestacional, interanual e interdecadal respectivamente (31). Además, esta condición no es un problema en sí mismo, pero sumada al cambio climático, en algunos casos, aumenta la vulnerabilidad de las poblaciones pobres (32).

Escalas de la variabilidad climática

El clima tiene diversas fluctuaciones en diferentes escalas de tiempo y espacio. Las de mayor influencia en los procesos atmosféricos (34) se describen a continuación:

- a. Diurna: Es una variabilidad temporal de muy corta duración. Se define como el cambio de una variable meteorológica entre el día y la noche. Este tipo de variabilidad origina brisas tierra-mar y de valle-montaña, así como las heladas (32).
- b. Estacional o anual: Corresponde la fluctuación del clima a nivel mensual. La determinación del ciclo anual de los elementos climáticos es una fase fundamental dentro de la variabilidad climática a este nivel. Uno de los fenómenos que se asocia a esta escala de variabilidad es la migración de la zona de Convergencia Intertropical – ZCIT (sistema productor de lluvias). Es considerada como una de las más importantes fluctuaciones climáticas de la escala estacional y su dinámica explica un buen porcentaje de la variabilidad de la precipitación (34). En latitudes medias está asociada con la secuencia de estaciones de invierno, primavera, verano y otoño, mientras que en latitudes tropicales está relacionada a la alternancia de temporadas lluviosas y temporadas secas debido a la migración de ZCIT (32).
- c. Intraestacional: Es una escala que refiere a periodos cortos de horas o pocos días. Se presentan dentro de las estaciones, oscilaciones que determinan las condiciones de tiempo durante semanas e inclusive de uno a dos meses. Dado que su amplitud es pequeña en comparación con las del ciclo anual, las oscilaciones de esta pasan desapercibidas (34).
- d. Interanual: A esta escala corresponden las fluctuaciones que se presentan de año a año. Estas variaciones podrían estar relacionadas con los cambios en la radiación (34).

- e. Interdecadal: Corresponde a las medidas de las fluctuaciones por décadas. Si bien, debido a que su amplitud es menor y han pasado desapercibidas, estas están influyendo notablemente en las actividades de la sociedad, por lo que son relevantes para determinar tendencias en las variables climáticas (34).

Elementos climáticos

Se denominan elementos climáticos a los componentes del clima como la temperatura, la humedad del aire y del suelo, la radiación solar y terrestre, etc. Debido a su complejidad, para su estudio, se considera únicamente a los componentes más predominantes como la temperatura del aire y las precipitaciones(35).

a. Temperatura

Es una magnitud que mide el movimiento de las moléculas que constituyen los cuerpos; eso quiere decir que mientras estas presenten mayor agitación, la temperatura aumentará (36). Dicha magnitud está vinculada a la noción de frío (menor temperatura) y calor (mayor temperatura) (37). En la tierra, la temperatura se determina por la cantidad de calor almacenado y de diversos procesos como el grado de evaporación y el escurrimiento superficial (38).

Para medirse, en grado Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) o grado Celsius ($^{\circ}\text{C}$), se usa un termómetro expuesto al aire que evada la radiación. Está comprendida entre 1,5m a 2,0m sobre el nivel del suelo (39).

Variación temporal de la temperatura del aire

Las variaciones de temperatura se efectúan debido a la cantidad de energía solar recibida, la cual varía según las regiones, la hora, las estaciones y la latitud (el ángulo de incidencia de los rayos solares), y de acuerdo a diversos factores como la variación diurna (producida por la rotación de la tierra sobre su propio eje), la distribución latitudinal, la variación estacional, los tipos de superficie terrestre y la variación con la altura (39).

Además, la temperatura aumenta si la energía entrante es mayor que la energía saliente. Esto genera un valor mínimo de la temperatura del aire entre las 16 y 20 de la mañana, y un valor máximo entre el mediodía y las 14 horas (39).

Temperatura máxima y mínima

Son los valores más altos y bajos registrados en un periodo de tiempo, por ejemplo, un día. Para medirlas se usan termómetros de máxima y mínima.

Medida de la temperatura del aire

Para medirla se usa el termómetro seco, de máxima y el de mínima dentro de una caseta meteorológica en las estaciones meteorológicas tres veces al día: a las 7 horas (se mide la temperatura mínima), a las 13 y a las 19 (se mide la temperatura máxima) (40).

Unidades de medición de la temperatura

- T: temperatura en grados Kelvin
- T: temperatura en grados Celsius

Donde:

$$273,16 \text{ K} = 0^{\circ}\text{C}$$

- También se tiene otra unidad de medición, la cual es Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$)

Donde:

$$^{\circ}\text{C} = (F - 32) \times 5 / 9$$

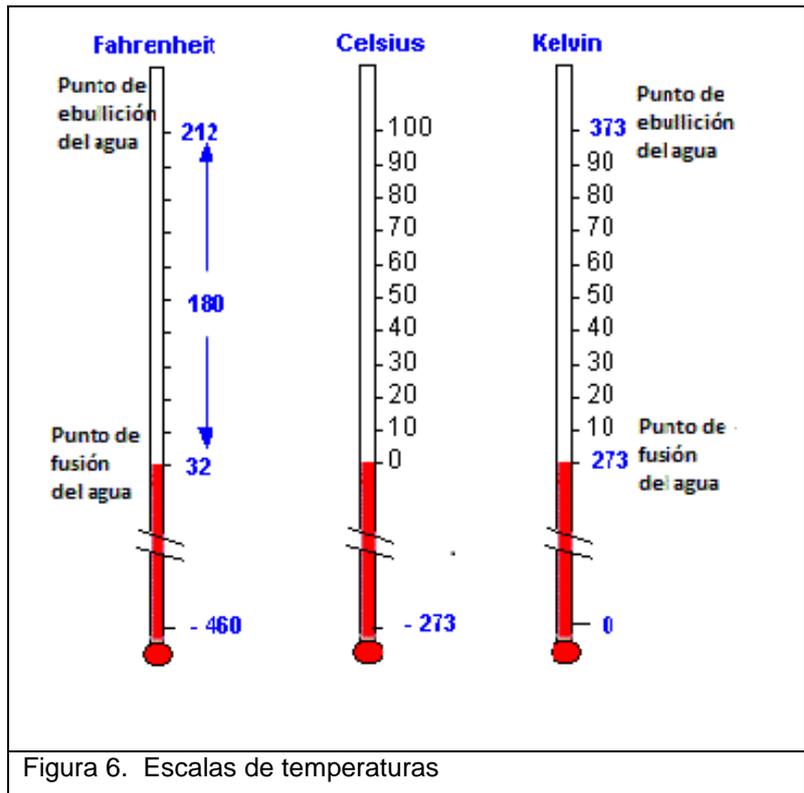


Figura 6. Escalas de temperaturas

Fuente: (41)

escala	fusión	ebullición
Kelvin	273,15 K	373,15 K
Celsius	0 °C	100 °C
Fahrenheit	32 °F	212 °F

Figura 7. Temperatura de fusión y ebulliciones 1 atm de presión atmosférica

Fuente: (42)

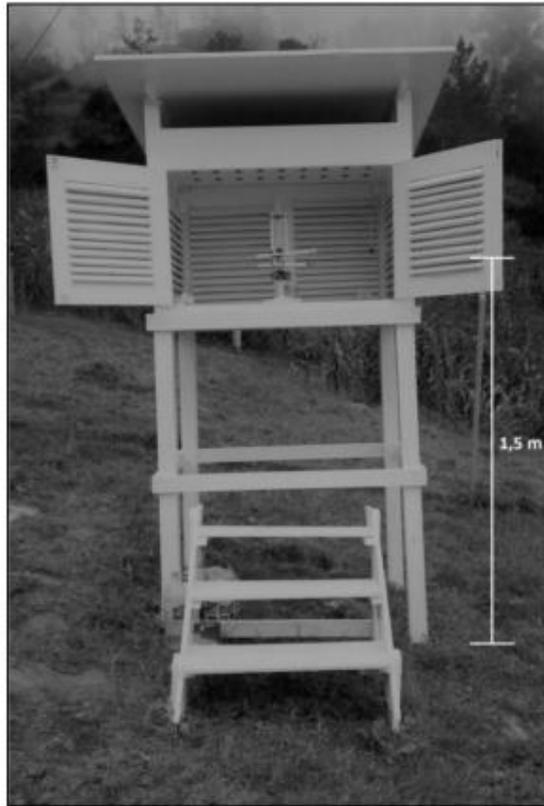


Figura 8. Caseta meteorológica con termómetros en su interior

La temperatura máxima y la temperatura mínima se miden en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) con los termómetros de extremas; estos son dos.

a. Termómetro de Máxima

Este instrumento manual, que se usa en las estaciones meteorológicas de estudio, tiene un líquido sensible de mercurio con el que se logra medir. Este equipo debe de contar con algunas especificaciones al momento de ser instalado para que la lectura sea correcta. Por ejemplo, debe estar situado a 2° respecto al horizonte con el bulbo inferior para evitar el descenso del mercurio. Es importante recalcar que, al momento de la lectura, se reajuste este objeto sujetando firmemente el bulbo hacia abajo y sacudiendo. Cabe señalar que la medición de la temperatura máxima se realiza a las 19:00 horas de forma diaria (42).

b. Termómetro de Mínima

Este instrumento realiza la lectura de la temperatura mínima en las estaciones meteorológicas. Su características son las siguientes: contiene alcohol, tiene un promedio de 2 cm de longitud y en el tubo de vidrio del termómetro hay siempre una cantidad mínima de aire. Además, los líquidos sensibles para estos instrumentos manuales tienen que ser los más puros posibles para evitar la modificación de los resultados. Estos termómetros están situados en casetas de seguridad con la finalidad de soportar temperaturas de 50°C sin que puedan sufrir algún tipo de daño. La medición de la temperatura mínima se realiza a las 07:00 a.m. de forma diaria (42).



Figura 9. Termómetro de máxima y mínima

Fuente: Elaboración propia

Aspectos meteorológicos

Para poder realizar la medición de la temperatura, se ha de tener en cuenta que el aire que fluye debe estar en la superficie de la tierra. Además, hay que considerar aspectos del suelo, los niveles del mar o lagos y, sobre todo, la atmósfera superior. Estos criterios son importantes para tomar las mediciones o lecturas con fines hidrológicos o agrícolas, ya que ayudarán a determinar los indicadores de variabilidad climática (43).

Método de medición de la temperatura

Para poder realizar la medición de la temperatura, se debe dejar el termómetro al alcance de esta, pues nos ayudará a determinar el equilibrio termodinámico. Los termómetros que nos indican lecturas ambientes son denominadas ordinarios y los que nos indican las temperaturas extremas a lo largo de un periodo son los termómetros de máxima y mínima (43).

Observaciones en las estaciones meteorológicas

Consiste en la toma de lectura de todos los elementos en conjunto (la temperatura, precipitación, humedad, etc.) que representan las condiciones atmosféricas de un determinado lugar en un momento determinado. Para llevarse a cabo, se usan instrumentos manuales y automáticos adecuados. Las lecturas de los datos se realizan diariamente en tres horarios: a las 07:00 am, 13:00 y 19:00 horas (43).

Procedimientos de lectura de termómetros máxima y mínima

Para que la lectura de los termómetros en una estación meteorológica sea correcta, se debe considerar hacerlo en el tiempo más rápido posible con el fin de poder evitar cualquier cambio de temperatura imputable a la presencia del observador.

Por lo general, los termómetros no contienen escalas en las subdivisiones inferiores, por lo que las lecturas tomadas se deben de redondear a la décima del grado más próximo. Estas son esenciales en psicometría y se realizan por estimación. En las estaciones meteorológicas, las lecturas de los termómetros de máxima y mínima se efectúan tres veces al día. Finalmente, las lecturas tomadas son comparadas con frecuencia para evitar alteraciones de datos (43).

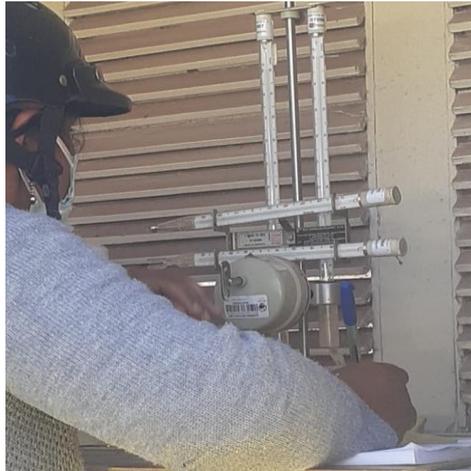


Figura 10. Lectura de datos de los termómetros

Fuente: Elaboración propia

Fuentes de error

Los termómetros de líquido en cápsula pueden contener errores, los cuales pueden generar dificultades en la confiabilidad de la lectura. Dentro de la tipología se encuentran los siguientes: los errores elásticos, los originados “por el tubo saliente, los de paralaje y errores de lectura ostensibles, los cambios en el volumen del bulbo producidos por la presión externa o interna, la capilaridad, los errores de división de la escala y de calibración, y los errores de dilatación desigual del líquido y del vidrio en el rango considerado” (43).

Calibración de los termómetros

Las instituciones públicas y privadas, que están a cargo de estaciones meteorológicas, deben de realizar unas calibraciones de sus equipos a través de laboratorios acreditados. Para cada tipo de termómetro se realizan diferentes procesos. Por ejemplo, los termómetros de líquido en cápsula de vidrio pasan por un baño líquido; en su interior se mantiene una temperatura de valor deseado dentro de un intervalo requerido. Estos equipos en el proceso de calibración son suspendidos y sumergidos, y no deben ser tocados de los lados. Todo este proceso debe garantizar que su funcionamiento, antes de ser llevado a la estación meteorológica, sea el adecuado (43).

La precipitación

La precipitación se genera cuando la atmósfera (solución gaseosa) se satura con el vapor de agua (por enfriamiento y añadiendo humedad), se condensa y luego cae. Puede producirse como lluvia, lluvia congelada, llovizna, nieve, aguanieve y granizo. Las gotas que caen a la superficie terrestre tienen diámetro de orden de 5 micras; estas, luego, aumentan su volumen y el proceso de crecimiento se da por colisión. Además, la precipitación mide la tasa de acumulación de lluvia, donde 1mm corresponde a 1 litro por metro cuadrado de la superficie (37).

Este fenómeno produce la mayor parte del agua dulce en el planeta. Al año, caen alrededor de 505000 km³ de agua (398000 km³ sobre los océanos) (37). En las estaciones meteorológicas, se registra una vez al día. Estas mediciones se realizan según los días que haya presencia de lluvias y, por lo general, a las 19:00 horas (43).

Tipos de precipitación

A. Precipitación en estado líquido

Llovizna (Garúa): Esta es básicamente gotas pequeñas que tienen un diámetro menor a 5 mm y cae de forma uniforme.

Chubasco: Son gotas de mayor diámetro y se precipitan con mayor intensidad.

Virga: Son gotas que se observan totalmente evaporadas antes de llegar a la superficie terrestre; estas se ven como si estuvieran colgadas en el aire.



Figura 11. Tipos de precipitación en estado líquido

Fuente: (44)

B. Precipitación en estado sólido

Nieve: Formada principalmente por la unión de cristales de hielo que llegan en forma de copos de nieve al suelo.

Aguanieve: Son precipitaciones con agua y copos de nieve.

Granizo: Es producto de los cristales de hielo, debido a la baja temperatura (45).

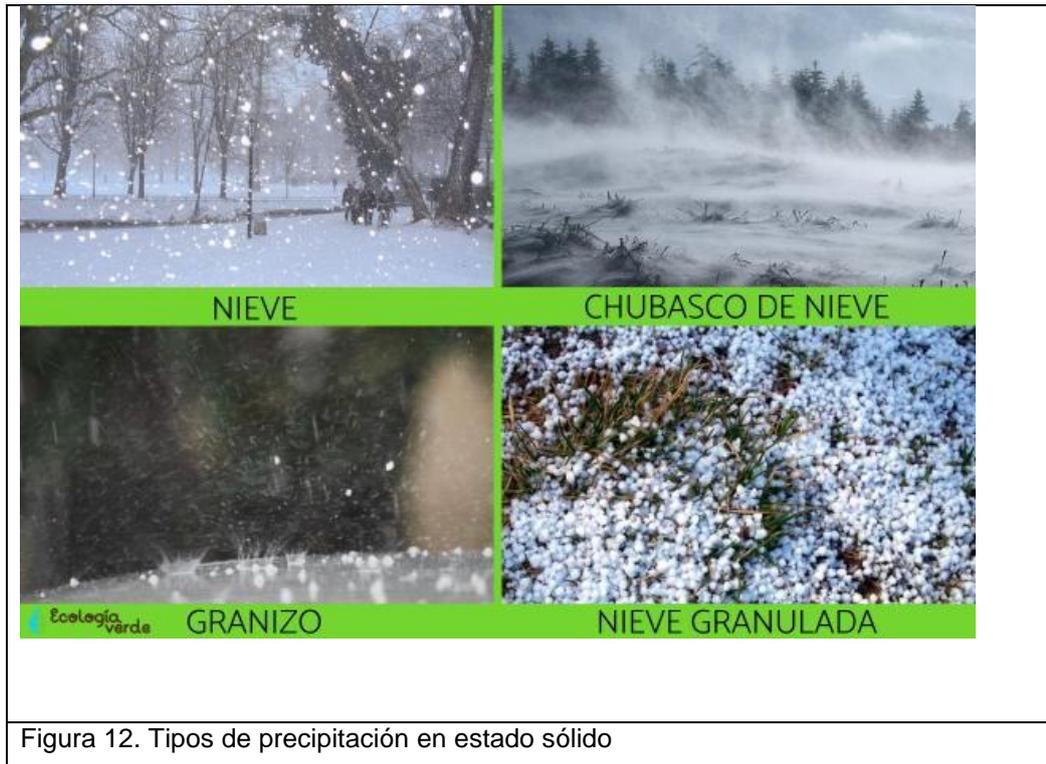


Figura 12. Tipos de precipitación en estado sólido

Fuente: (44)

Clasificación de la precipitación

El origen de las precipitaciones está ligado al mecanismo de la formación de nubes, las cuales se clasifican, según su origen, en tres tipos, tal como se observa en la figura 13.

- a. **Precipitación convectiva:** Se produce por el calentamiento de bolsas de aire que, posteriormente, ascienden. Se asocia a las nubes cúmulos y cumulonimbos y es generada por el proceso de Bergeron. Este es un tipo de precipitación habitualmente tempestuosa, de duración breve (menos de una hora), fuerte intensidad y poca extensión espacial (46).
- b. **Precipitación orográfica:** Se produce cuando las masas de aire húmedas horizontales ascienden para encontrarse con una montaña (barrera orográfica). Presenta una intensidad y una frecuencia regular (46).
- c. **Precipitación frontal o ciclónica:** Ocurre cuando dos masas de aire de distintas frentes se ponen en contacto. Estos pueden ser frentes cálidos y fríos, y el desplazamiento de uno va a provocar la ascensión frontal del otro (44).

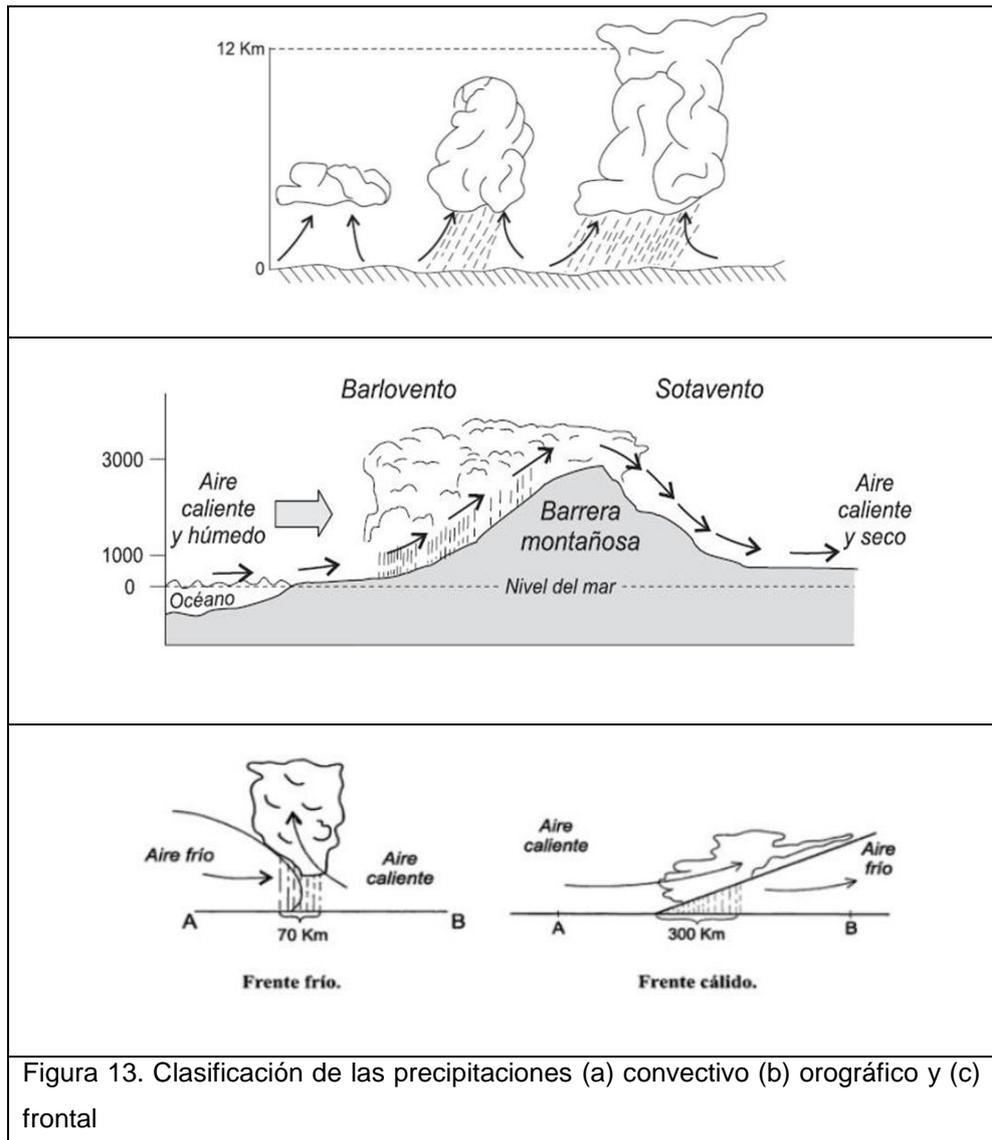


Figura 13. Clasificación de las precipitaciones (a) convectivo (b) orográfico y (c) frontal

Fuente: (47)

Variación de la precipitación

La precipitación varía geográfica (según factores locales regionales), temporal (de acuerdo a rotación, traslación, localización astronómica y geográfica del lugar) y estacionalmente. Estas son abundantes cerca de la línea ecuatorial y disminuyen con la latitud.

Unidades y escalas de la medición de la precipitación

La unidad de la precipitación líquida es la profundidad lineal representada en milímetros mm, volumen/área y kilogramos por metro cuadrado (masa/área).

$$V = h \times S$$

Donde:

- $V =$ Volumen de precipitación en 1 m^3
- $h = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$
- $S = 1 \text{ m}^2$

El SENAMHI señala que la precipitación se calcula con el pluviómetro tipo Hellmann a las 7 y 19 horas, tal como indica la OMM (40).

Instrumentos de medición

Pluviómetro: Este instrumento manual se utiliza específicamente para realizar la medición de la precipitación pluvial. Consta de un depósito cilíndrico con un embudo receptor el cual tiene una comunicación con el vaso medidor instalado dentro del depósito mayor. La dimensión del área receptora es 10 veces mayor que el área medidora. Las mediciones se realizan con la probeta y se usa una precisión de 0,1mm. Los periodos comunes de observación se llevan a cabo durante las precipitaciones pluviales cada hora, cada tres horas y a diario; de esta manera, se podrán tener datos climatológicos e hidrológicos. El pluviómetro se debe encontrar a 1 metro de altura de la superficie del suelo, el cual también debe de mantener una distancia considerable con cualquier tipo de instrumento, esto con el fin de evitar salpicaduras que afecten a los equipos que se encuentran en su alrededor.



Figura 14. Pluviómetro estación meteorológica Granja Kcayra

Fuente: Elaboración propia

Pluviógrafo: Sirve como un registrador que mide la cantidad de precipitación por día y nos va a indicar la intensidad de la caída. Este instrumento, al momento de recolectar agua en el recipiente donde se encuentra el flotador que está conectado con una pluma inscriptora, va a originar una gráfica en una banda de registro diario, la cual se encuentra graduada de 0 a 10 mm (43).



Figura 15. Pluviógrafo estación meteorológica Granja Kcayra

Fuente: Elaboración propia

Medición de la precipitación

El instrumento que sirve para la medición de la temperatura consta principalmente del pluviómetro, el cual estará pintado de color blanco con el fin de evitar la absorción de la menor cantidad posible de calor. Al momento de la precipitación pluvial, esta se reúne en un vaso cilíndrico con un borde al lado y con un embudo profundo con el fin de que, al caer las gotas, no salpiquen o reboten. Las gotas almacenadas pasarán a otro recipiente que se encuentra en el interior. Este cuenta con una boca muy estrecha para evitar la evaporación. La cantidad de precipitación pluvial se va a medir con una probeta con escala y la información que se obtenga de la precipitación acumulada se manejará cada 24 horas (43).

Calibración y mantenimiento del pluviómetro

En lo general, el principal instrumento a tomar en cuenta es la probeta. Es de prioridad la graduación de la varilla, la calibración del medidor y la verificación del diámetro de la boca. Además, al momento de la calibración del equipo se debe tener en cuenta que se encuentre dentro de lo admisible y se debe considerar realizar un mantenimiento periódico o constante. Las condiciones exteriores e interiores del pluviómetro deben ser óptimas. En el momento en que se evidencie algún tipo de daño, desgaste o rotura se debe de sustituir de manera inmediata (43).

Cambio climático

Según el cuarto informe del IPCC (2007), el cambio climático es la variación del estado medio del clima, durante un periodo prolongado (por ejemplo cada diez años). Esto es causado por procesos naturales internos, externos o cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra. Sin embargo, según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en su Artículo 1, el cambio climático es atribuido de forma directa o indirecta a la actividad humana (emisiones de gases de efecto invernadero, la deforestación y la industrialización), que altera la composición de la atmósfera mundial (32).

En el Perú, la Comisión Nacional del Cambio Climático (CNCC) señala que el cambio climático permite absorber parte de la radiación solar que es reflejada en la Tierra, por lo que es un proceso natural siempre y cuando esté controlado (32).

El cambio climático engloba al calentamiento global y no solo influye en la temperatura, sino en otras variables como la precipitación. El Ministerio del Ambiente (MINAM) en el 2010 afirmó que sus efectos se pueden resumir de la siguiente manera: 1) alteración de los prototipos de lluvia, 2) aumento del nivel del mar, 3) derretimiento de los glaciares, 4) aumento de las olas de calor que generan la expansión de enfermedades, 5) aumento de las temperaturas que provocan plagas e incendios forestales, 6) la frecuencia e intensidad de desastres climáticos, 7) aumento de la frecuencia e intensidad del fenómeno El Niño, 8) la sabanización del Amazonas que podría producir

millones de toneladas de CO² y 9) la reducción de la biodiversidad y extinción de las especies (32).

Indicadores meteorológicos del cambio climático

El IPCC, en el año 2013, definió como indicadores para identificar y encontrar evidencias del cambio climático a la temperatura y la precipitación pluvial. Entre ellos, el principal es la temperatura media superficial global (promedio de la temperatura del aire cerca de la superficie del suelo y la temperatura superficial del mar). El segundo indicador son los cambios en los patrones de precipitación terrestre, sin incluir las precipitaciones en los océanos (32).

2.2.2 Metodologías existentes para el análisis de datos

2.2.2.1 Control de calidad de datos

Para poder realizar el análisis de una serie climática, se da prioridad a su estudio de calidad. Este control de calidad ayudará a localizar fallos sistematizados, que podrían modificar la interpretación posterior de datos. Este conjunto de métodos o pruebas son los siguientes: (48)

- **Errores aberrantes**
Valores de temperatura superiores a 50°C e inferiores a -50°C o precipitación negativa
- **Pruebas de tolerancia**
Es la localización de valores que se encuentren fuera de su rango, es decir, aquellos que superan 4 veces la desviación estándar o 3 veces el rango intercuartílico.
- **Pruebas de consistencia interna**
Donde la temperatura máxima sea menor que la temperatura mínima (T_{max} < T_{min})

2.2.2.2 Indicadores y métodos para determinar la tendencia

Pruebas estadísticas paramétricas

Las pruebas estadísticas paramétricas corresponden a un modelo matemático mediante el cual se analizan variables cuantitativas continuas, las cuales son predefinidas y condicionarán la muestra que se va investigar y su población según parámetros estadísticos. Los resultados que se

obtengan dependerán de las suposiciones o condiciones estadísticas, que corresponden a los datos temporales independientes, datos distribuidos normalmente y población con la misma varianza; dentro de ellos tenemos T de Student, regresión lineal, entre otros.

Pruebas estadísticas no paramétricas

Las pruebas estadísticas no paramétricas van a analizar únicamente las variables cualitativas (estas pueden ser nominales u ordinales) y las cuantitativas discontinuas. Este test, principalmente, se va utilizar cuando los datos cuantitativos no sigan una distribución normal. Son de modelo matemático de distribución libre, lo cual no condiciona a la muestra y a su población a parámetros estadísticos. Además, la forma de cálculo es menos complicada, ya que para poder otorgar validez a las hipótesis se consideran los rangos, medianas y frecuencia de datos. Sin embargo, la dificultad de este test radica en que se usa cuando hay pruebas pequeñas y existen más probabilidades de errores porque sus cálculos no son exactos. Dentro de ello, para poder determinar la tendencia se utilizan las pruebas de Sen y Mann Kendall (49).

Prueba de Mann Kendall

Este método estadístico es un test no paramétrico y es usado ampliamente para determinar si las series reflejan tendencias en las variables hidrometeorológicas de aumento o disminución para cada variable que será analizada:

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

Si $(X_j - X_i) > 0$	$sg(X_j - X_i) = 1$
Si $(X_j - X_i) = 0$	$sg(X_j - X_i) = 0$
Si $(X_j - X_i) < 0$	$sg(X_j - X_i) = -1$

Tenemos:

- $n =$ Tamaño de la muestra
- X_j y X_i Datos secuenciales

Si el número de pares positivos es P, y el número del tipo de pares negativos es M; entonces la S es definida como $S = P - M$.

$$Z = \begin{cases} (S - 1)/\sigma_s & \text{Si } S > 0 \\ 0 & \text{Si } S = 0 \\ (S + 1)/\sigma_s & \text{Si } S < 0 \end{cases}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}}$$

- La p - value. Es la probabilidad de Z en la distribución normal y permite determinar si se acepta o rechaza la hipótesis nula.

Donde:

- Hipótesis nula H_0 = representa que no existe tendencia.
- Hipótesis alternativa es H_1 = representa la existencia de tendencia (49).

Spearman s Rho

Este método se usa cuando los datos no cuentan con una distribución normal, por lo cual se pueden encontrar valores extremos. Se basa, específicamente, en rangos que van a determinar si existe una correlación significativa entre dos variables. El análisis de la tendencia considera la variable tiempo en años y la otra variable en los datos temporales para las series de datos climáticos. El estadístico (D) de la prueba Rho de Spearman (SR) se reduce a la siguiente ecuación: (49)

$$D = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R_i - i)^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde:

- R_i es el rango de la i-ésima observación.
- N es el número de datos en la muestra.

El estadístico estandarizado Z_{SR} está dado por la ecuación:

$$Z_{SR} = D \sqrt{\frac{n-2}{1-D^2}}$$

- La hipótesis nula es que no existe una tendencia en la serie.

Si:

$$abs(Z_{SR}) > t_{\left(n-2, 1-\frac{\alpha}{2}\right)}$$

- Entonces se rechaza la hipótesis nula y existe una tendencia en la serie.

En esta ecuación

$$t_{\left(n-2, 1-\frac{\alpha}{2}\right)}$$

Es el valor del estadístico t en la tabla de la distribución T de student para un nivel α de significancia.

Prueba de correlación lineal de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson mide los índices de grado de variación entre distintas variables relacionadas linealmente. Su ejecución e interpretación son sencillas. Por ejemplo, si suponemos que la primera instancia de sus valores absolutos oscilan entre 0 y 1 (variables X e Y), definimos el coeficiente de correlación de Pearson entre estas dos variables r_{xy} donde:

$$0 \leq r_{xy} \leq 1$$

Cabe indicar que la magnitud de la relación está relacionada con el valor numérico del coeficiente; de ese modo, el signo refleja la dirección de tal valor. En este sentido, tan fuerte es una relación de +1 (relación positiva) como de -1 (relación negativa).

La correlación entre dos variables X e Y es perfecta positiva cuando, en la medida que aumenta una de ellas, aumenta la otra. No obstante, será perfecta negativa cuando, en la medida que va aumentar una variable,

disminuye la otra. El coeficiente de correlación de Pearson está definido por la siguiente expresión:

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N}$$

El coeficiente de correlación de Pearson hace referencia a la media de los productos cruzados de las puntuaciones estandarizadas de X y de Y. Esta fórmula reúne algunas propiedades que la hacen preferible a otras. Al operar con puntuaciones estandarizadas, es un índice libre de escala de medida. Por otro lado, su valor oscila, como ya se ha indicado, en términos absolutos, entre 0 y 1 (50).

2.2.3 Técnicas e instrumentos de investigación

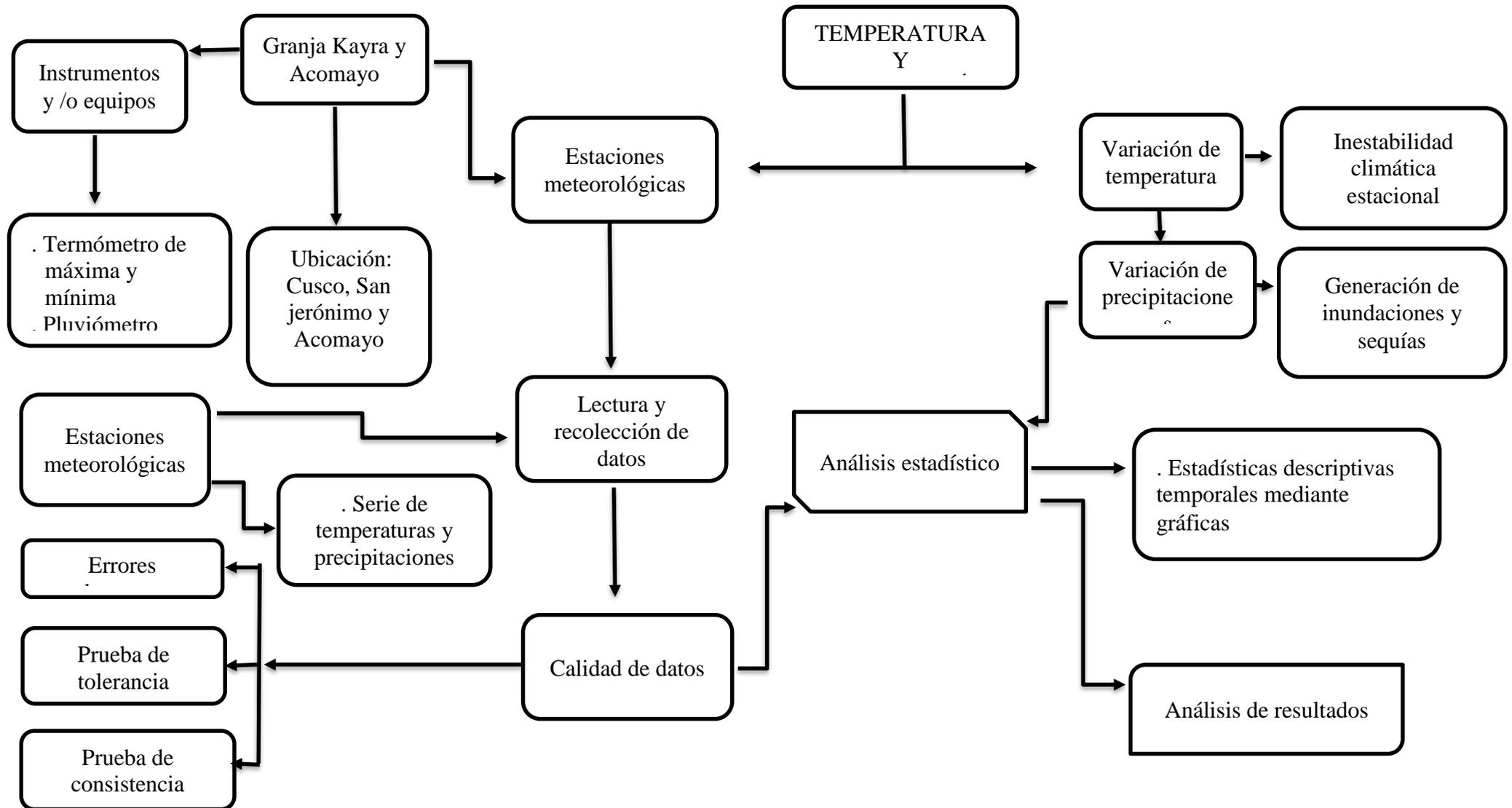
Análisis de datos meteorológicos SENAMHI

Consiste en recurrir a portales del SENAMHI para obtener datos para su posterior análisis (según el tiempo de estudio), además de datos vacíos o no registrados.

Instrumentos

Los instrumentos para la presente investigación fueron los registros y planillas de los datos de temperatura y precipitación de las estaciones meteorológicas Granja Kayra y Acomayo.

2.2.4 Diseño de modelo teórico conceptual



2.3 Definición de términos básicos

- **Anomalía**

Es la desviación del valor normal de temperatura (lo más común) o precipitación en una región en un período específico (51).

- **Calentamiento global**

Es el aumento de la temperatura de la tierra debido a las altas concentraciones de gases de efecto invernadero (51).

- **Celsius**

Escala de temperatura en la cual 0 grados representa el punto de congelamiento del agua y 100 grados el punto de ebullición (51).

- **Clima**

Son las condiciones meteorológicas que prevalecen a largo plazo en una zona en particular (51).

- **Climatología**

Es el estudio científico del clima (51).

- **Escenarios climáticos**

Es una descripción admisible y breve del clima futuro, proyectado sobre la base de una serie de relaciones y proyecciones climatológicas (8).

- **Estación meteorológica**

Es el lugar donde se miden y observan diversos aspectos meteorológicos a través de herramientas adecuados para así poder establecer los comportamientos atmosféricos (53).

- **Efecto invernadero**

Es un fenómeno mediante el cual se acumulan gases en la atmósfera gases que retienen la radiación en la atmósfera (54).

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

Es una sustancia de origen natural o humano, que atrapan la energía del sol, lo que provoca que la atmósfera se caliente (55).

- **Mitigación al cambio climático**

Se logra gracias a la intervención humana para disminuir los gases de efecto invernadero o mejorar los mecanismos que lo promueven a fin de limitar el cambio climático futuro (55).

- **Observación meteorológica**

Consiste en el análisis de los elementos atmosférico en un momento y lugar determinado, utilizando instrumentos adecuados (56).

- **Pluviómetro**

Es un instrumento empleado para medir la cantidad de lluvia (51).

- **Temperatura media / temperatura promedio**

Es el promedio de una serie de temperaturas tomadas durante determinado período, como un día o un mes (51).

- **Poblaciones en situación de vulnerabilidad**

Se considera así a grupos humanos cuyas características los hacen especialmente susceptibles a los impactos de diversa índole (55).

- **Precipitación**

Constituida por un conjunto de partículas que se precipitan desde las nubes hacia el suelo (54).

- **Variabilidad climática**

Este concepto se refiere a la certeza de que el cambio es la única condición permanente del clima. La variabilidad se expresa de unas horas a otras, de unos días a otros (tiempo), de unos años a otros o de unas décadas a otras (51).

- **Resiliencia**

Es una habilidad que consiste en afrontar diversos problemas o fenómenos tanto en el aspecto social, como en el económico o ambiental (55).

- **Vulnerabilidad**

Es una característica de ciertos grupos que están predispuestos a afecciones negativas de diversa índole (55).

- **Temperatura**

Es la cantidad de calor que posee la atmósfera y depende básicamente de la energía que irradia el Sol (57).

- **Temperatura Máxima**

Es la temperatura más alta registrada en un intervalo determinado. En un día, esta generalmente se da a las 19:00 horas. (54).

- **Temperatura Media**

Es el promedio de lecturas de temperatura durante un intervalo de tiempo (54).

- **Temperatura Mínima**

Es la menor temperatura registrada en un día en un determinado intervalo de tiempo: en un día se puede observar entre las 06:00 y las 08:00 horas (54).

- **Termómetro**

Es un objeto con el que se mide la temperatura. Funciona mediante la alteración de las propiedades físicas de algunas sustancias (54).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método y alcances de la investigación

3.1.1 Método de la investigación

La investigación presenta como método general el hipotético – deductivo. Este nos ayudará a deducir, a través de la observación del fenómeno a estudiar, ciertas explicaciones particulares (58). En ese sentido, se determinaron los valores de la temperatura y su influencia en la precipitación en el contexto del cambio climático de la región de Cusco en el periodo de 1965 hasta el 2021.

3.1.1.1 Método específico de la investigación

Trabajo de campo

a. Desarrollo de información

Para desarrollar esta investigación, se necesitó conocer el tipo de estación meteorológica, los instrumentos y/o equipos que se usaron y el estado en que se encontraban. Para ello, se realizó una visita a las instalaciones, que permitió obtener conocimiento sobre cómo se realizaban las lecturas y cómo se procesaban los datos obtenidos de la temperatura y la precipitación. La estación visitada era de tipo convencional y los equipos que se usaron para los registros fueron el termómetro y el pluviómetro. Además, las lecturas se ejecutaban en tres horarios 7:00, 13:00 y 19:00 horas, de manera diaria y permanente.

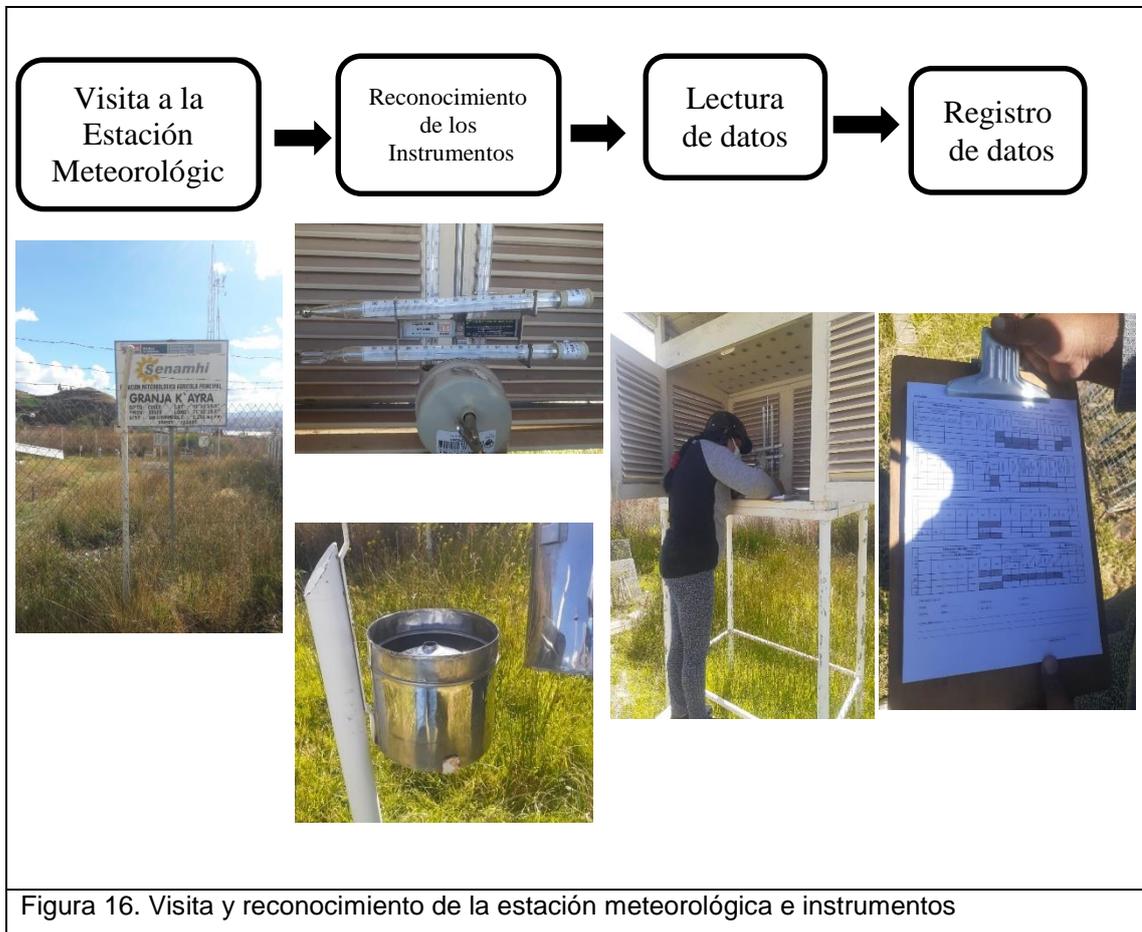


Figura 16. Visita y reconocimiento de la estación meteorológica e instrumentos

Fuente: Elaboración propia

Los instrumentos y/o equipos con los que se cuenta la estación meteorológica Granja Kayra se encuentran en óptimas condiciones. El área donde se ubica la estación, en general, cumple con las especificación que solicita la OMM: las calibraciones de los equipos se realizan cada tres meses y si hay algún equipo dañado se cambia de manera inmediata para no interrumpir la recolección de datos diarios de la respectiva estación. Además, los observadores de dichas estaciones realizan las lecturas y verifican de manera constante el funcionamiento y estado de toda la estación. Asimismo, para cada una de las estaciones existe un observador que realiza los trabajos y registros en tres horarios de 07:00, 13:00 y 19:00 horas. La lectura de la temperatura mínima y recolección de datos se realiza a las 07:00 a.m. y la medición de la temperatura máxima, a las 19:00

horas. La precipitación se registra solo cuando hay precipitaciones pluviales. Dicha estación también cuenta con un cerco perimétrico y cada equipo está ubicado a una distancia adecuada para evitar cualquier tipo de inconvenientes y/o daños entre ellos. Ambas estaciones están supervisadas por la región zonal 12 de Cusco.

b. Trabajo de gabinete

Desarrollo de datos

A partir del portal del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), se realizó la descarga de los datos históricos de las temperaturas medias mensuales y precipitaciones mensual acumuladas desde el año 1965 al 2021 en hojas de cálculo del software Excel.

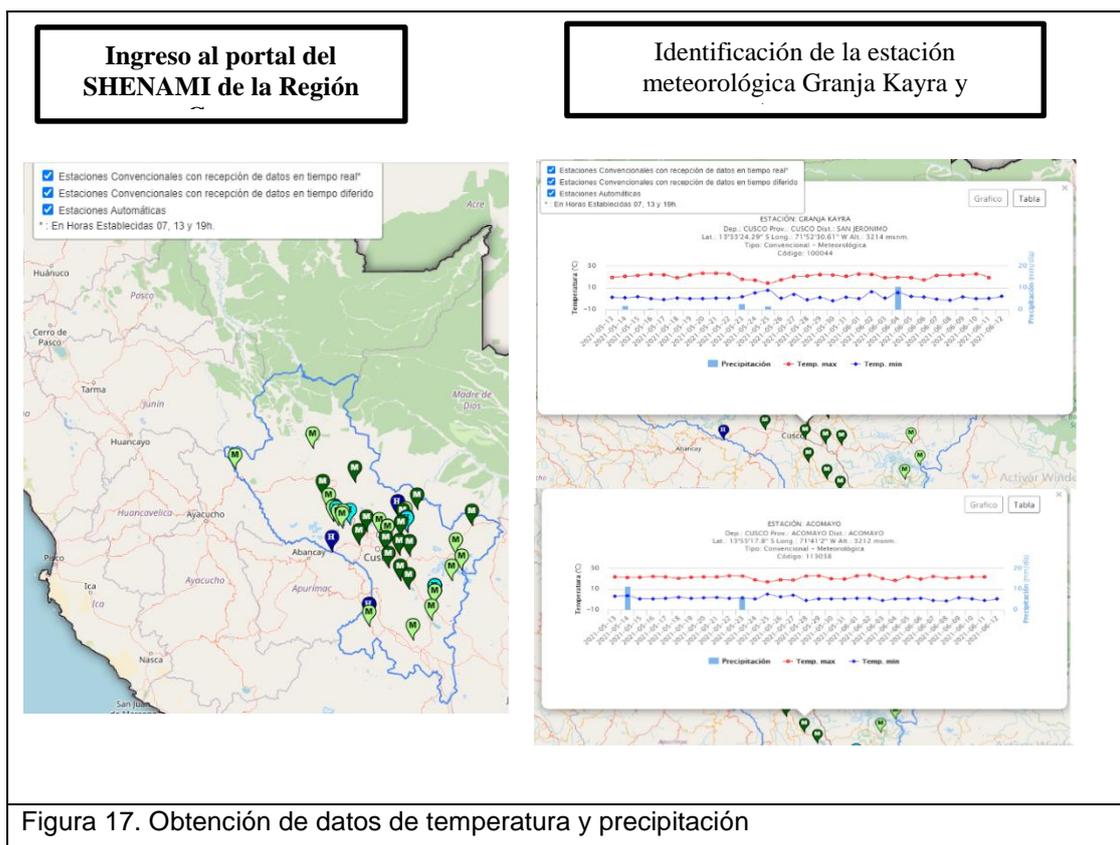


Figura 17. Obtención de datos de temperatura y precipitación

Fuente: Elaboración propia

Análisis de los datos

Se describe en el procesamiento de los datos para la obtención de resultados de acuerdo con los objetivos planteados.

3.1.2 Tipo y nivel de la investigación

La investigación, es de tipo **aplicada** porque los objetivos planteados (temperatura, precipitación y el cambio climático) son parte de nuestra realidad cotidiana que se ejecutan en el tiempo (1964 – 2020) y en el espacio (Cusco).

Cada una de las etapas de la investigación tiene un fin y un orden, por lo cual no se pueden omitir pasos. Por esa razón, se tienen que cumplir de forma rigurosa y minuciosa, pues solo, de esa manera, se podrán explicar los fenómenos meteorológicos y su influencia en los eventos climáticos. Además, contar con los objetivos y las respectivas las hipótesis es valioso, puesto que ayudarán a determinar las variables independientes y dependientes. En ese marco, se desarrolló un plan para poder probarlas (diseño y/o metodologías).

3.1.2.1. Nivel de investigación

La investigación es de nivel **explicativo**, porque explicaremos de qué manera la variable independiente va a influir en la variable dependiente; desde ese contexto se trata de explicar de qué manera la temperatura influye en la precipitación y, como consecuencia, en el cambio climático.

3.2 Diseño de la Investigación

Los fenómenos atmosféricos no se pueden manipular solo se pueden observar tal y como se dan en la naturaleza. Por esta razón, se planteó un diseño de investigación **no experimental**, porque no se realizará manipulación deliberada de variables independientes y dependientes; es decir, solo se observarán situaciones ya existentes. En otras palabras, en la

investigación no experimental, la variable ocurre y no es posible manipular; no se tiene control directo de dicha variable meteorológica ni se puede influir sobre ella, porque ya sucedió, al igual que sus efectos.

3.2.1 Tipo de diseño de investigación

El estudio es de tipo longitudinal de tendencia correlación causal, puesto que la recolección de los datos se realiza en varios momentos desde 1965 al 2021; además, toda la información recolectada es denominada *ex post*, puesto que son informaciones históricas. El diseño se presenta en la figura 18.

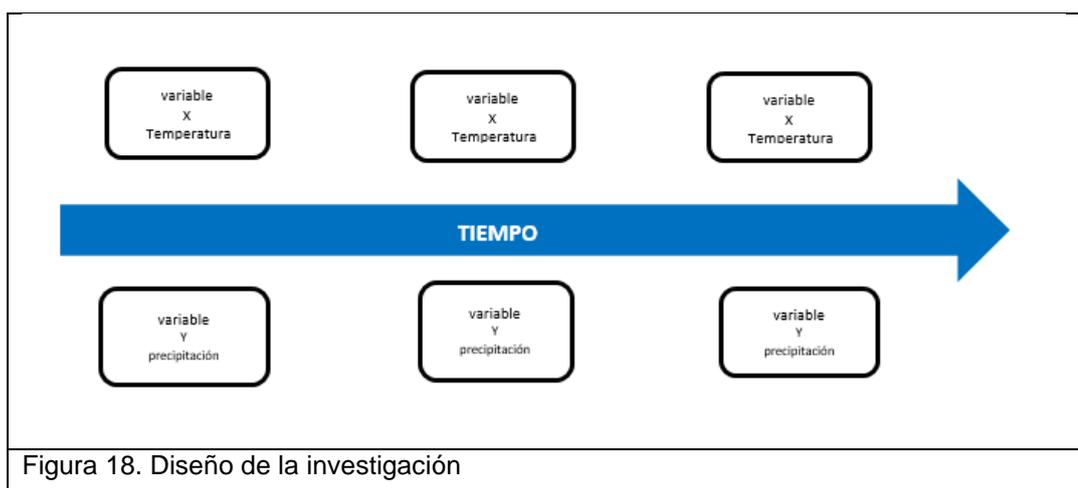


Figura 18. Diseño de la investigación

Elaboración propia

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población comprende las ocho estaciones meteorológicas convencionales ubicadas en la región Cusco.

Unidad de análisis: La temperatura media y las precipitaciones anuales en la región Cusco comprendidas del periodo de 1965 al 2021.

3.3.2 Muestra

La selección de la muestra fue no probabilista o dirigida. En la investigación, se eligieron las dos estaciones que cumplían con las características para la investigación en el contexto del cambio climático (datos mayores a 30 años) según la OMM. Las estaciones fueron **Acomayo** y **Granja Kayra** con periodo de datos de 1965 al 2021. La descripción de su ubicación se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Ubicación de las estaciones meteorológicas

Estaciones meteorológicas	Distrito	Provincia	Departamento	Latitud (S)	Longitud (W)	Altitud msnm
Acomayo	Acomayo	Acomayo	Cusco	13°55'17.8"	71°41'12"	3212
Granja Kayra	San Jerónimo	Cusco	Cusco	13°33'24.29"	71°52'30.6"	3214

Área de estudio

La estación San Jerónimo se encuentra en el distrito de San Jerónimo entre los 3210 y 4470 m.s.n.m. Limita por el norte con la provincia de Calca, por oeste con el distrito de San Sebastián, por el sur con la provincia de Paruro y por el sur-este con la provincia de Quispicanchi y el distrito de Saylla (figura 19).

La estación Acomayo se encuentra en la provincia de Acomayo del departamento del Cusco (figura 20). Está ubicada el sureste del departamento del Cusco, a una altitud de 3219 m.s.n.m. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática en el 2015, contaba con una población aproximada de 27, 693 entre varones y mujeres, los cuales se dedican, fundamentalmente, a la producción de productos agrícolas, así como a las actividades ganaderas.

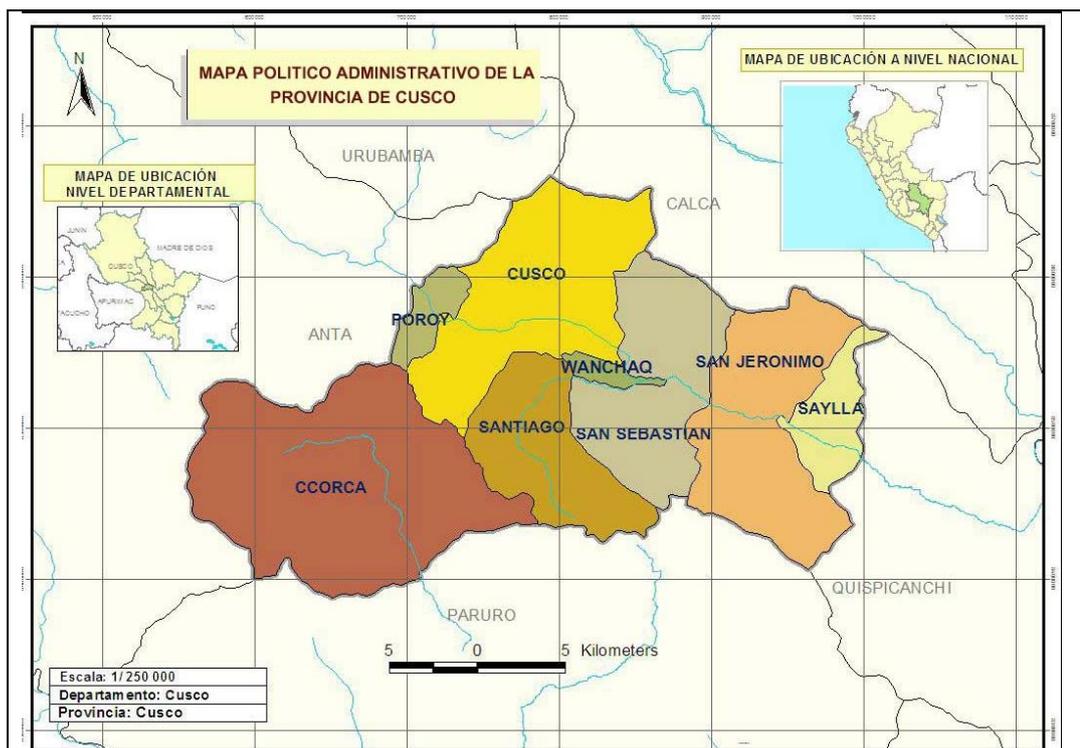


Figura 19. Mapa político administrativo de la provincia de Cusco

Fuente: (59)



Figura 20. Mapa político administrativo de la provincia de Acomayo

Fuente: (59)

Clima

Según la clasificación climática de Werren Thornthwaite, en los distritos de San Jerónimo y Acomayo predomina el clima frío seco C(o,i)C'H2. Las precipitaciones ocurren en verano y son fundamentalmente de tipo orográfico, es decir, resultado de la condensación del vapor de agua de las masas de aire provenientes de la Amazonía que, al elevarse, van descargando gran parte de esta humedad, especialmente en las vertientes orientales de la cadena de altas montañas y en los valles interandinos. El agua es escasa, debido a que no llueve gran parte del año y la superficie es accidentada, factores que hacen que la vegetación sea dispersa y escasa. La temperatura media anual es de 12°C., siendo los meses de mayo a julio los que registran menores temperaturas. Por último, la precipitación pluvial promedio anual está alrededor de 700 mm (59).

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para poder realizar la presente investigación, fue necesario considerar las estaciones meteorológicas que a continuación se describen.

3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos

Para la recolección de datos, la investigación utilizó la **técnica documental**, mediante la cual los datos de temperatura y precipitación se obtuvieron de los registros climatológicos (1965-2021), también llamados "Planillas Climatológicas" de la estación meteorológica Granja Kayra y Acomayo de los archivos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos

Los instrumentos que se utilizaron para la recolección de datos de la temperatura media, así como de la precipitación, fueron las **fichas de**

registro diario y mensual de las estaciones meteorológicas Granja Kayra y Acomayo. Para poder procesar los datos obtenidos, se utilizó el software Excel. Este programa nos ayudó a sistematizar en orden cronológico las tablas y gráficos.

3.5 Procesamiento de la información

Para el procesamiento de la información, se usaron paquetes estadísticos como las herramientas R para analizar la serie de tiempo; y el software Excel para construir la base de datos, análisis descriptivos y análisis de regresión. Los datos mensuales, tanto de temperatura media y precipitación, siguieron procedimientos de control de calidad, a través del análisis exploratorio y utilización de diagrama de dispersión y caja de bigotes. Para el caso del dato perdido, se utilizó el dato de una estación similar. En los casos donde no se encontraban datos, se trabajó con el promedio del año anterior o posterior. Con la data ya tratada, se inició el análisis descriptivo de las variables de temperatura media y precipitación para el periodo 1965 al 2021 de las dos estaciones. Además, se utilizó la prueba de Mann-Kendall para determinar la tendencia de ambas variables.

Para estimar el efecto de la temperatura media en la precipitación mensual, se utilizó el análisis de regresión lineal, el cual está asociado al coeficiente de r de Pearson para determinar la relación entre variables, capaces de explicar el comportamiento de una variable “dependiente” a través de otra variable “independiente”. Mientras mayor sea la correlación entre variables (covariación), mayor es la capacidad de predicción. Para realizar el análisis de regresión, primero se hizo el gráfico de dispersión a través del cual se pudo observar cómo se comportan las variables; seguidamente, se verificó el cumplimiento de los tres supuestos: distribución normal, homocedasticidad y autocorrelación.

Distribución normal: Que los residuos del modelo de regresión lineal tengan una distribución normal. Para ello, se usó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S), que determina la diferencia máxima entre la distribución teórica normal y la distribución proporcionada de los datos de la muestra. La

hipótesis que se planteó fue que los datos provienen de una distribución normal.

Autocorrelación o Independencia de residuos: Este supuesto plantea que los residuos deben ser independientes (sin autocorrelación). Se evaluó a través del test de Durbin y Watson, cuyos valores deben estar entre 1.5 y 2.5.

Homocedasticidad: Los residuos presentan varianza constante, a través de la prueba de Levene o igualdad de varianzas.

El modelo de regresión lineal es el siguiente:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$$

Donde:

y_i representa el valor de la variable respuesta para la observación i -ésima

X_i representa el valor de la variable explicativa para la observación i -ésima

β_0 y β_1 son los coeficientes de regresión

β_0 Intercepto

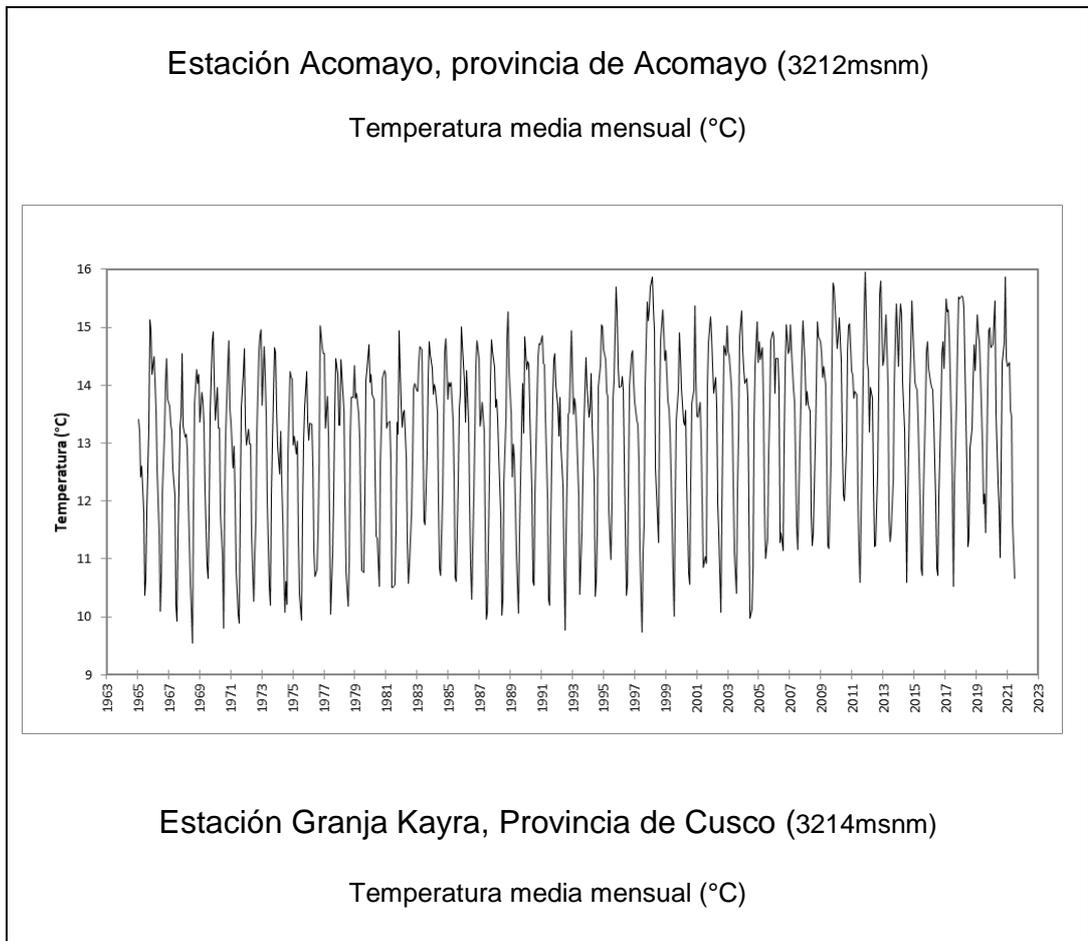
β_1 Pendiente

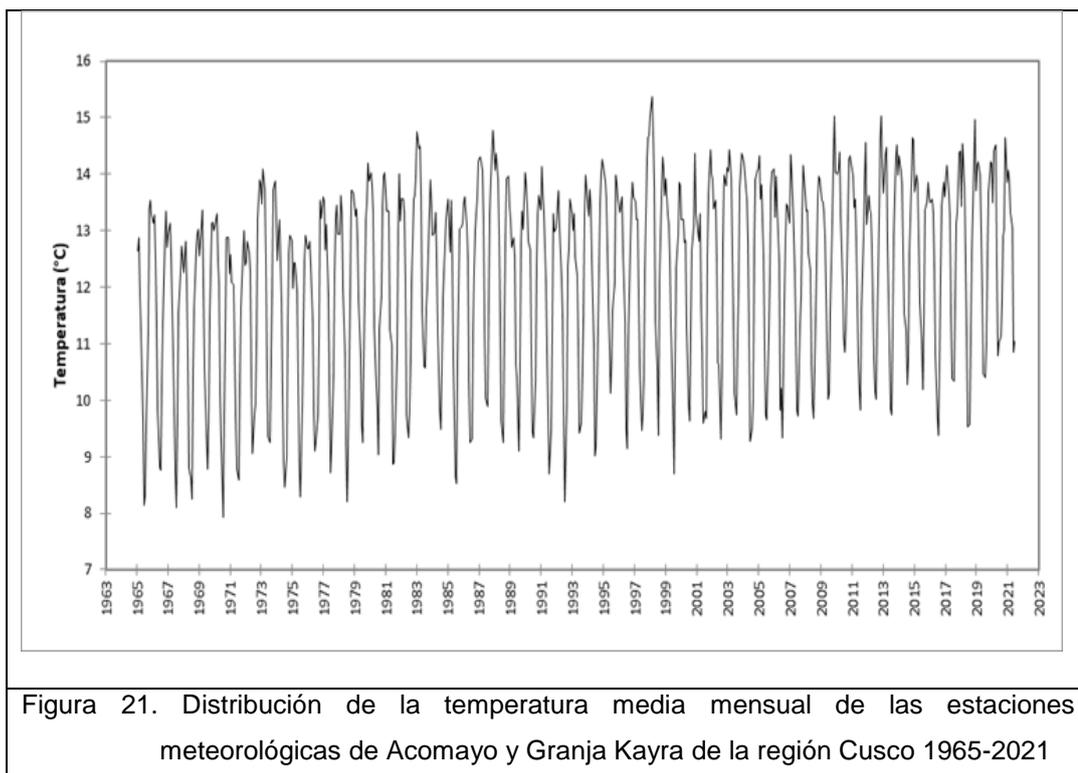
CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1 Característica de la temperatura media mensual de las estaciones meteorológicas de Acomayo y Granja Kayra de la región Cusco





Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de la temperatura media °C, Estación Meteorológica Acomayo

Variable	Obs.	Obs. Con datos perdidos	Obs. Sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Tmm	678	0	678	9.5500	15.9517	13.1783	1.4899

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Estadísticos descriptivos de la temperatura media °C, Estación Meteorológica Granja Kayra

Variable	Obs.	Obs. Con datos perdidos	Obs. Sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Tmm	678	0	678	7.9290	15.3732	12.1956	1.6970

Fuente: Elaboración propia

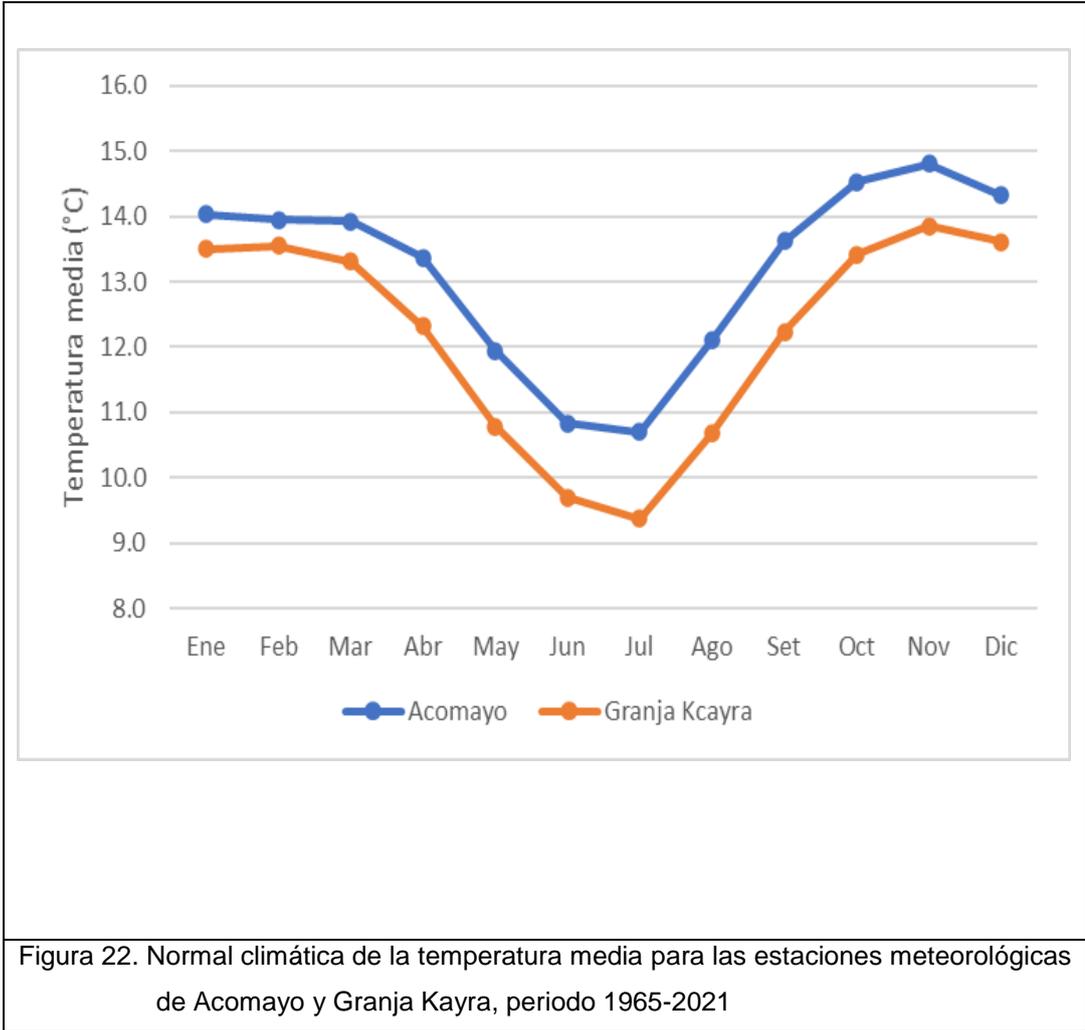


Figura 22. Normal climática de la temperatura media para las estaciones meteorológicas de Acomayo y Granja Kayra, periodo 1965-2021

Fuente: Elaboración propia

Prueba de tendencia

Prueba de hipótesis de Mann-Kendall de la temperatura media mensual

Interpretación de la prueba:

H₀: No existe una tendencia en la serie

H_a: Hay una tendencia en la serie

$\alpha = 0.05$

Tabla 5. Prueba de tendencia de Mann-Kendall / Prueba bilateral (Tmm):

Estación Acomayo

Tau de Kendal	0.1674
S	38418.0000
Var(S)	1239792.8167
Valor-p (bilateral)	<0.0001
Alfa	0.05

Fuente : Elaboración propia

Tabla 6. Prueba de tendencia de Mann-Kendall / Prueba bilateral (Tmm):

Granja Kayra

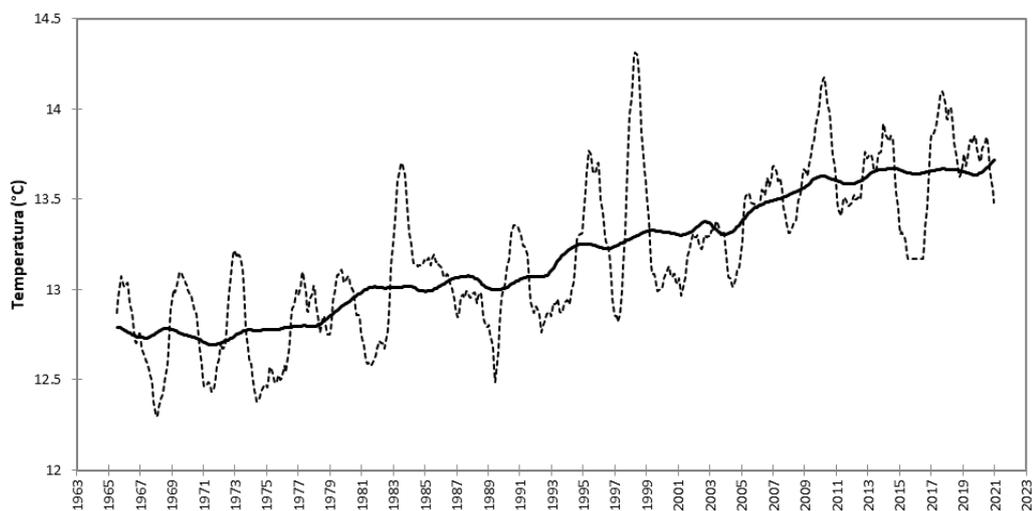
Tau de Kendal	0.1755
S	40271.0
Var(S)	34705939.0
Valor-p (bilateral)	<0.0001
Alfa	0.05

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el valor-p en ambas estaciones está por debajo que el nivel de significancia $\alpha = 0.05$, se rechaza la hipótesis nula H_0 , y se acepta la hipótesis alterna H_a . El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera es inferior al 0.01% para ambas estaciones.

Estación Acomayo, provincia de Acomayo (3212msnm)

Temperatura media mensual (°C)



Estación Granja Kayra, Provincia de Cusco (3214msnm)

Temperatura media mensual (°C)

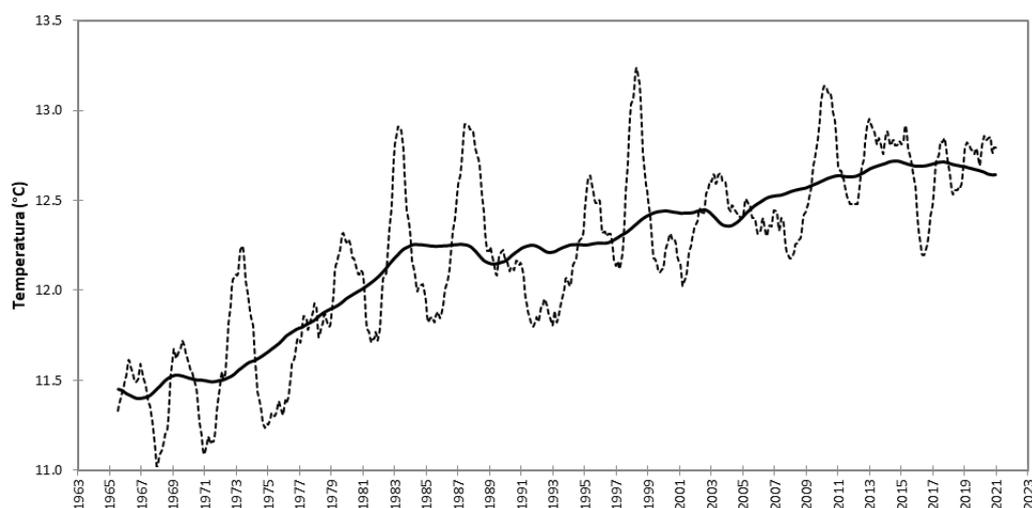


Figura 23. Ajuste de la tendencia de la temperatura media de las estaciones meteorológicas de Acomayo y Granja Kayra de la región Cusco 1965-2021

Fuente : Elaboración propia

4.1.2 Característica de la precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica de Acomayo de la región Cusco

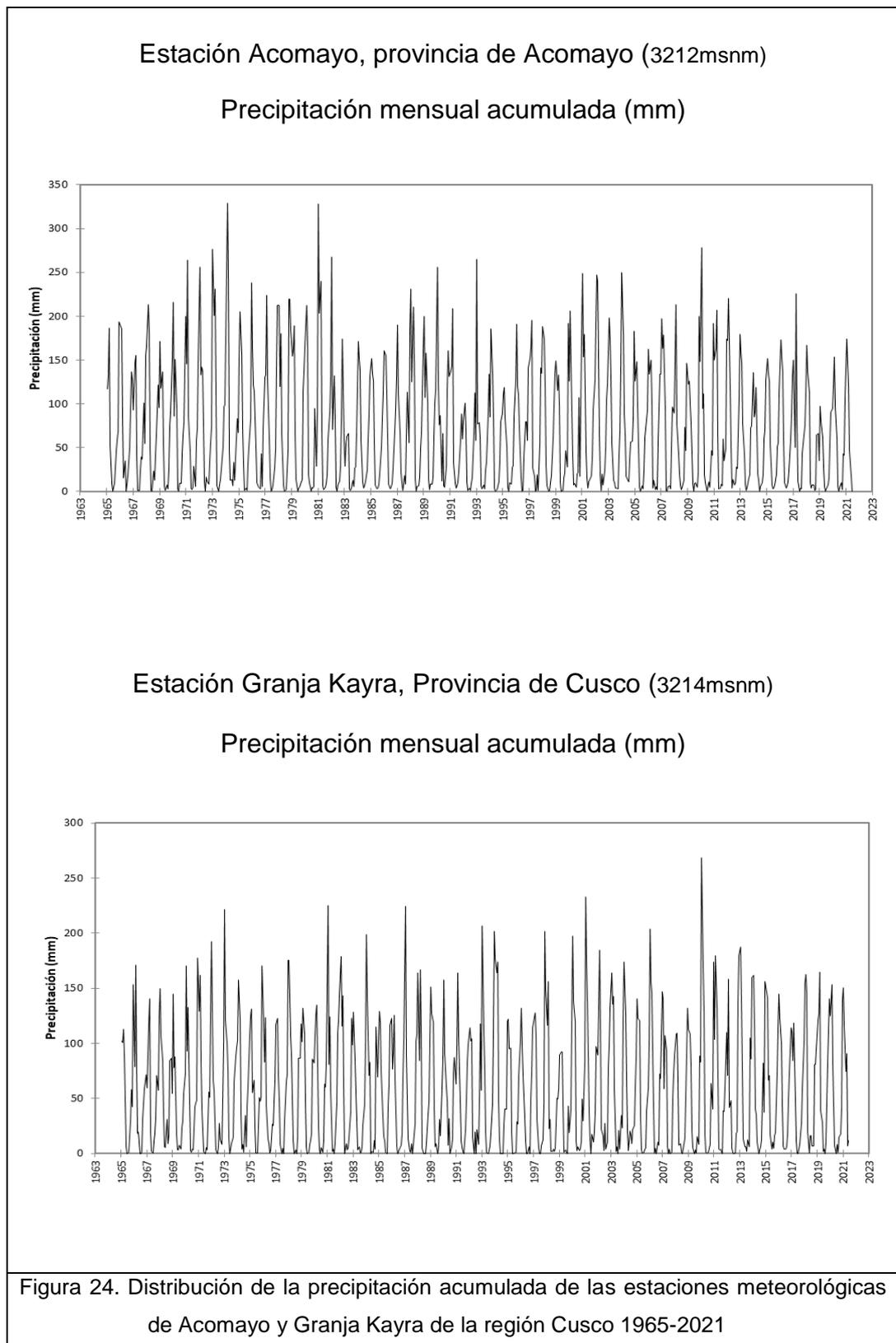


Figura 24. Distribución de la precipitación acumulada de las estaciones meteorológicas de Acomayo y Granja Kayra de la región Cusco 1965-2021

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Estadísticos descriptivos de la precipitación acumulada mensual,
Estación Acomayo

Variable	Obs.	Obs. Con datos perdidos	Obs. Sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Ppm	678	0	678	0.0001	328.8001	71.0994	69.3395

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Estadísticos descriptivos de la precipitación acumulada mensual,
Estación Granja Kcayra

Variable	Obs.	Obs. Con datos perdidos	Obs. Sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Ppm	678	0	678	0.0010	268.6010	57.1485	56.1103

Fuente: Elaboración propia

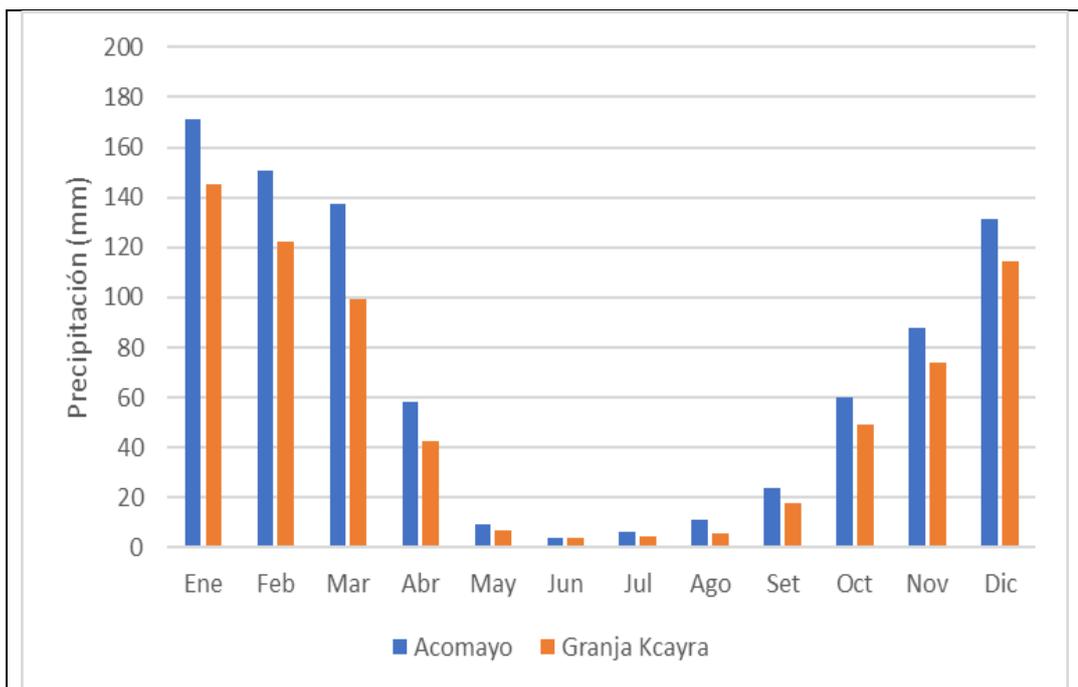


Figura 25. Normal climática de la precipitación mensual acumulada (mm) para las estaciones meteorológicas Acomayo y Granka Kayra de la región Cusco, período 1965-2021

Fuente: Elaboración propia

Prueba de tendencia

Prueba de hipótesis

H_0 : No existe una tendencia en la serie

H_a : Hay una tendencia en la serie

$\alpha = 0.05$

Tabla 9. Prueba de hipótesis de Mann-Kendall / prueba bilateral (Ppm), Estación Acomayo

Tau de Kendal	-0.0328
S	-7514.0000
Var(S)	12315007.8906
Valor-p (bilateral)	0.0323
Alfa	0.05

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 9, la prueba de tendencia para la estación Acomayo indica que, debido a que el valor-p es menor que el nivel de significancia $\alpha = 0.05$, se rechaza la hipótesis nula H_0 , y acepta la hipótesis alterna H_a . El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera es inferior al 3.23%.

Tabla 10. Prueba de hipótesis de Mann-Kendall / prueba bilateral (Ppm), estación Granja Kayra

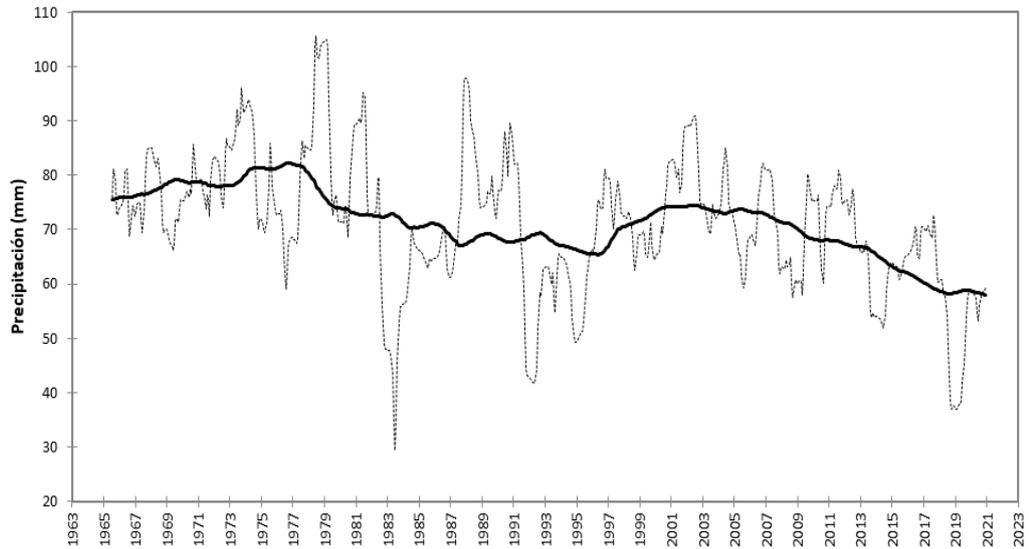
Tau de Kendal	0.0083
S	1902.0000
Var(S)	1699618.8708
Valor-p (bilateral)	0.1448
Alfa	0.05

Fuente: Elaboración propia

La tabla 10 muestra la prueba de tendencia, puesto que el valor-p es mayor que el nivel de significancia $\alpha = 0.05$; por lo tanto, no se puede rechazar la hipótesis nula H_0 . El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera es de 14.4%.

Estación Acomayo, provincia de Acomayo (3212msnm)

Precipitación mensual acumulada (mm)



Estación Granja Kayra, Provincia de Cusco (3214msnm)

Precipitación mensual acumulada (mm)

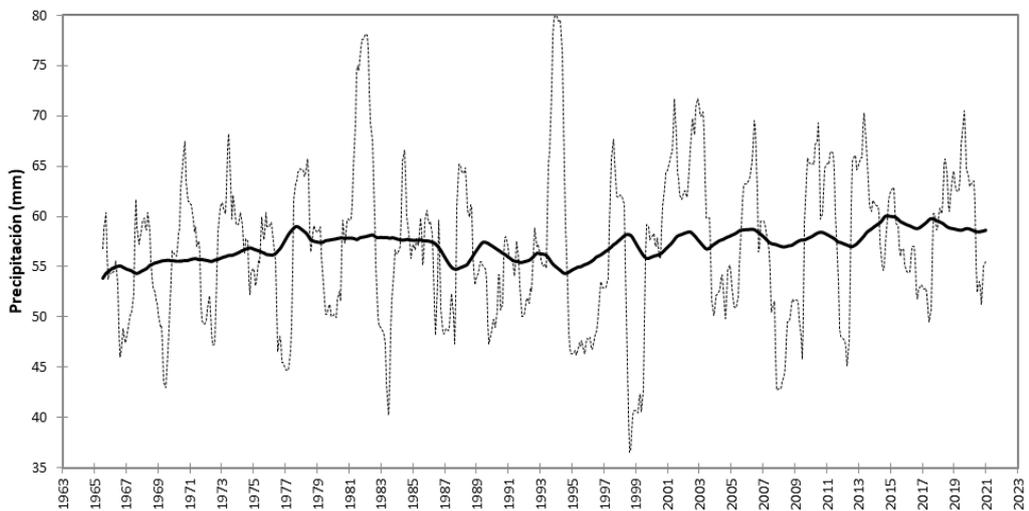


Figura 26. Ajuste de la tendencia de la precipitación mensual acumulada de las estaciones meteorológicas de Acomayo y Granja Kayra de la región Cusco 1965-2021

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Influencia de la temperatura media en la precipitación acumulada en las estaciones meteorológicas de Acomayo y de Granja Kayra de la región Cusco en los años 1965 – 2021

Regresión

Prueba de hipótesis

Ho: $\beta_1 = 0$ No hay relación causa-efecto entre variables

H1: $\beta_1 \neq 0$ Hay relación causa-efecto entre variables

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 11. Análisis de varianza de la regresión entre la temperatura media y la precipitación mensual acumulada de la Estación Meteorológica Acomayo

Fuentes	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Valor-P
Modelo	1	10559.214	10559.2143	670.3890	<0.0001
Error	663	10442.831	15.7509		
Total	664	21002.045			

Fuente: Elaboración propia

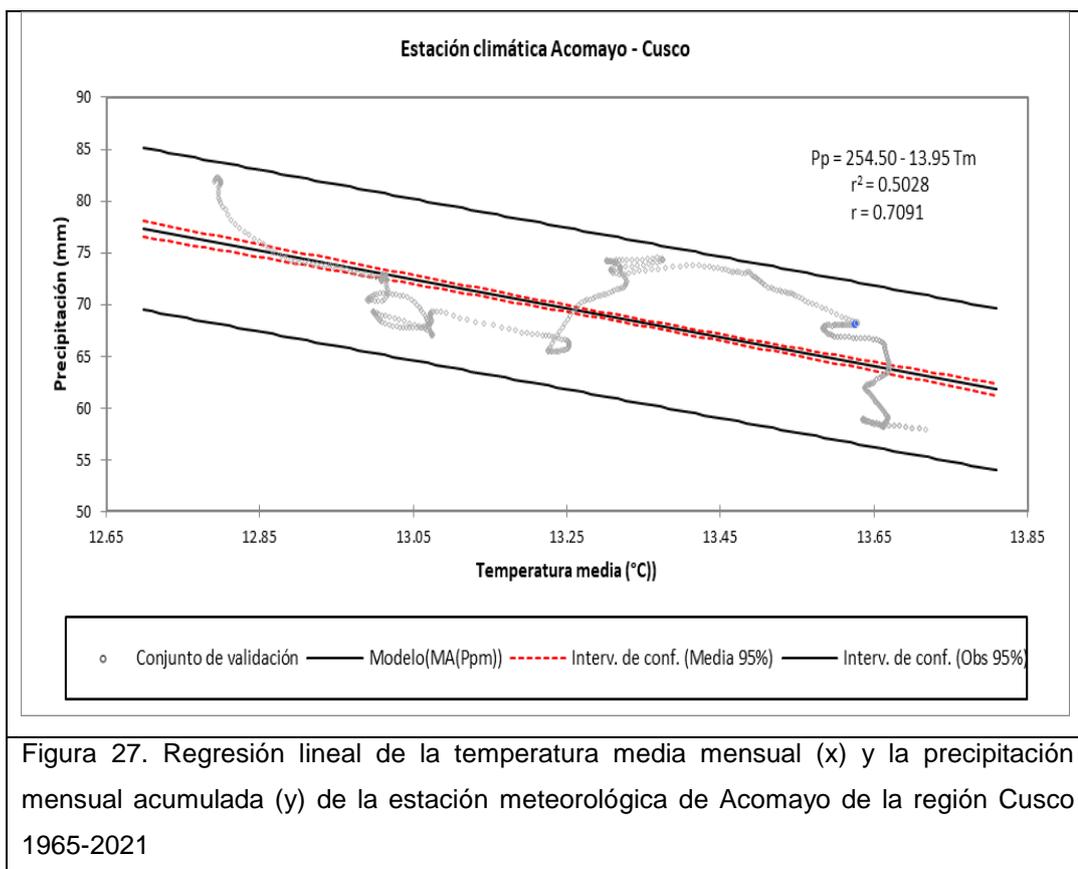
Decisión:

Dado que

Valor-P <0.05, se rechaza la Ho; hay relación causa-efecto.

El modelo de regresión es:

$$Ppm = 254.50 - 13.95Tm$$



Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Análisis de varianza de la regresión entre la temperatura media y la precipitación mensual acumulada de la Estación meteorológica Granja Kayra

Fuentes	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Valor-P
Modelo	1	611.4591	611.4591	807.1849	<0.0001
Error	663	502.2361	0.7575		
Total	664	1113.6951			

Fuente: Elaboración propia

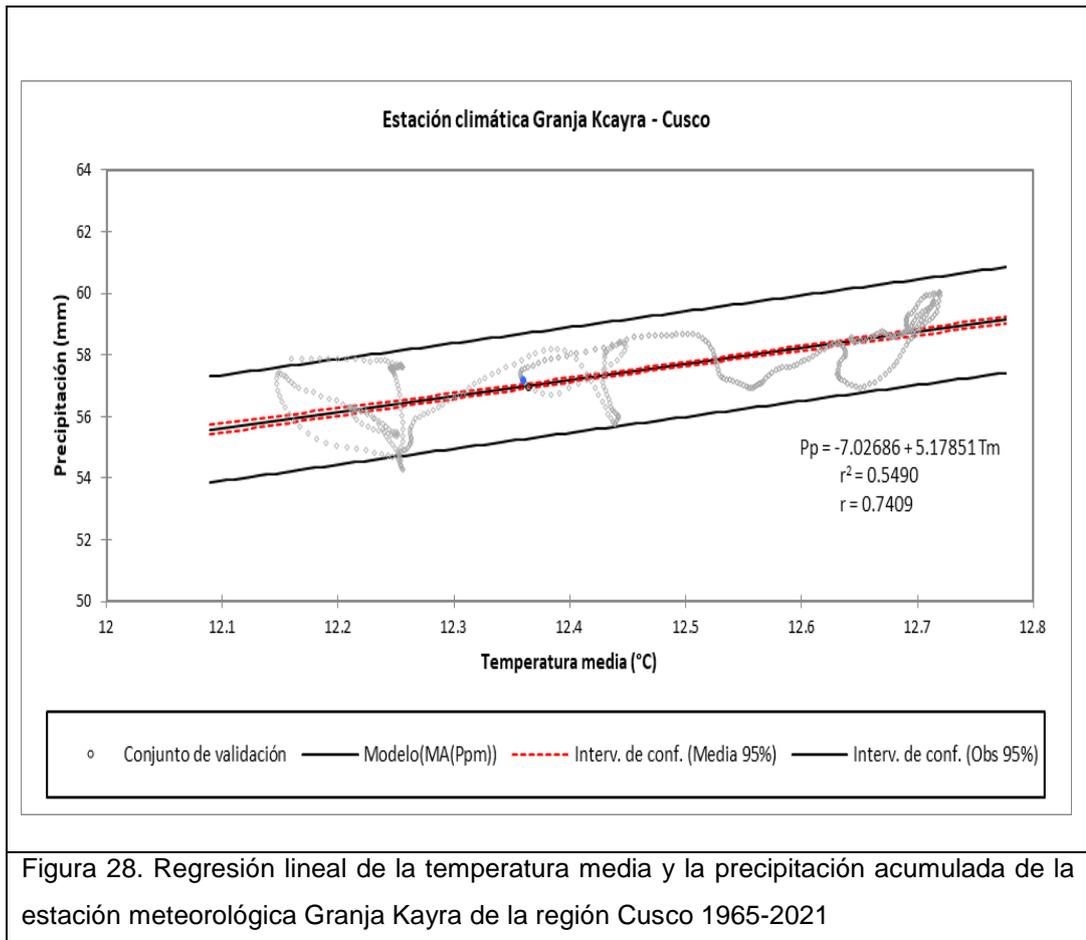
Decisión:

Dado que

Valor-P <0.05, se rechaza la Ho; hay relación causa-efecto.

El modelo de regresión es:

$$P_{pm} = 254.50 - 13.95T_m$$



Fuente: Elaboración propia

4.2 Discusión de resultados

Distribución de la temperatura media

La figura 21 muestra la variación estacional, es decir, esa alternancia entre las temporadas frías y calientes que suceden dentro de un año; así mismo, se observa que las fluctuaciones no son las mismas año tras año, sino que están

por encima o por debajo de la normal climática. Además, se percibe que el rango de la temperatura media va de 9.5°C a 15.9°C (según tabla 3) para la estación Acomayo y de 7.9°C a 15.3°C (tabla 4) para la estación de Granja Kayra para el periodo 1965-2021. Por otro lado, claramente, se puede notar el incremento de la temperatura media a partir de 1996 para la estación de Acomayo y, a partir de 1965, para la estación Granja Kayra. La figura 22 muestra las temperaturas medias mensuales. La temperatura media más caliente es el mes de noviembre y la media más fría se da el mes de julio para ambas estaciones. En general, las temperaturas medias en todos los meses del año son más altas en la estación Acomayo. Así mismo, se observa que la temperatura media mensual en julio es mucho más baja en la estación climática Granja Kayra. El promedio medio anual es de 13.2°C para Acomayo y 12.2°C para la estación Granja Kayra.

El análisis de tendencia para la temperatura media

El análisis de tendencia para las dos estaciones (tabla 5 y 6), nos indica que hay propensión positiva para la temperatura media mensual. La línea de tendencia realizada a través de medios móviles muestra que las temperaturas medias son más altas con referencia al año 1965 (figura 23) en ambas estaciones. Esto se corrobora con lo mencionado por el IPCC en su informe, quien señala que, desde 1850-1900 hasta 2006-2015, la temperatura media del aire en la superficie terrestre presentó un aumento de 1,53°C; así mismo, afirmó que el rango debe estar entre 1,38°C a 1,68°C (60). El Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales (IDEAM) señaló que hay suficiente evidencia de que a mayor altura, la temperatura será más alta; por lo tanto, se generará mayor impacto (61).

Distribución de la precipitación

En la figura 24, podemos identificar periodos secos y lluviosos durante cada año; así mismo, se observa que las precipitaciones no son iguales con referencia a otros años, puesto que hay presencia de eventos extremos como sequías e inundaciones en ambas estaciones. Sin embargo, podemos decir que la mayor severidad fue en la estación Acomayo. La precipitación estuvo en el rango de

0.0001mm a 328.8mm (tabla 7) y el promedio anual acumulado para el periodo fue de 851.3mm para la estación climática Acomayo, mientras que para Granja Kayra fue de 0.0 mm a 286.6mm (tabla 8) y un promedio anual acumulado de 679.8mm para el periodo evaluado 1965-2021. La figura 25, muestra el patrón normal de la distribución mensual de la precipitación para ambas estaciones (el mes más lluvioso es enero y el mes más seco es junio); así mismo, las precipitaciones registradas en la estación Acomayo son más abundantes para todos los meses en relación con la estación Granja Kayra.

Análisis de tendencia para la precipitación mensual acumulada

La prueba de tendencia (tabla 9), indica que hay tendencia significativa para la precipitación en la estación de Acomayo, mientras que no hay tendencia para la estación de Granja Kayra (tabla 10). La figura 26 muestra, sin embargo, tendencia positiva poco apreciable para la estación Granja Kayra mientras que, claramente, se observa tendencia negativa para la estación Acomayo. El promedio de precipitación mensual está disminuyendo en la estación de Acomayo; esto también se corrobora con lo mencionado por el IPCC, quien señala que en algunas zonas secas, con el aumento de la temperatura y la evapotranspiración, disminuirá la cantidad de precipitación (60). Por otro lado, la presencia de cambios en la distribución y alteraciones en la precipitación acumulada mensual y anual serían diferentes en cada región. Algunas podrían presentar mayor precipitación y otras menores (62).

Regresión

En el modelo de regresión representado en la figura 27 para la estación climática Acomayo, se observan los coeficientes β_0 y β_1 que definen la recta. El coeficiente β_1 es la pendiente de la recta ($\beta_1 = -13.95$). Este indica que, en promedio, a cada incremento de un grado centígrado en la temperatura media (X_i) le corresponde una disminución de 13.95 mm de precipitación (Y_i). El

coeficiente β_0 es el origen de la recta, punto en que la recta corta el eje vertical. Además, nos muestra la bondad de ajuste del modelo a través del coeficiente de determinación ($r^2 = 0.47$). Este indica que el 47% de las variaciones de la precipitación son atribuidas a las variaciones de la temperatura. Así mismo, el coeficiente de correlación ($r = 0.68$) señala que hay buena correlación entre la temperatura y la precipitación.

La figura 28 muestra el modelo de regresión para la precipitación en la estación climática de Granja Kayra. La pendiente ($\beta_1 = 5.17851$) es positiva. Esto indica que, por cada incremento de un grado centígrado en la temperatura media, le corresponde un incremento de 5.17851mm de precipitación mensual. El coeficiente de determinación ($r^2 = 0.54$) indica que el 54% de las variaciones de la precipitación son debido a las variaciones de la temperatura. Además, el coeficiente de correlación ($r = 0.74$) indica que hay buena correlación entre las variables.

Los resultados se corroboran con las afirmaciones de otros autores, quienes señalan que el incremento de la temperatura global aumenta el nivel del mar y, por lo tanto, genera un grave impacto ambiental. En ese sentido, los ecosistemas vinculados a diversos sistemas hidrológicos serán afectados (61).

CONCLUSIONES

- La temperatura media mensual en las estaciones climáticas Acomayo y Granja Kayra muestra variación estacional, es decir, un periodo frío y otro caliente. La temperatura media para la estación Acomayo es de 13.2°C y 12.2°C para Granja Kayra. Así mismo, la temperatura media mensual muestra tendencia positiva para ambas estaciones.
- La precipitación mensual acumulada muestra periodos secos y lluviosos durante cada año; así mismo, se observó que las precipitaciones no son iguales todos los años. La precipitación anual acumulada es de 851mm para la estación de Acomayo, mientras que 679.8 mm para Granja Kayra. Hay una tendencia negativa de la precipitación mensual acumulada para la estación Acomayo, mientras que para la estación Granja Kayra apenas se puede apreciar una tendencia positiva.
- El análisis de regresión indica que, a un incremento de un grado de la temperatura media mensual, le corresponde una disminución de 13.95 mm de precipitación para la estación Acomayo, mientras que para la estación Granja Kayra hay un aumento de 5.17mm de precipitación.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar la tendencia de la temperatura media mensual y la precipitación mensual acumulada por periodos decadales.
- Se recomienda, también, analizar las temperaturas máximas y mínimas mensuales.
- Se recomienda analizar los efectos del cambio climático en la agricultura por ser una actividad muy sensible al clima.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ORGANIZACIÓN Meteorológica Mundial (OMM). Tiempo-Clima-Agua. 2019 [fecha de consulta: 15 de enero de 2022]. Disponible en: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/la-organizaci%C3%B3n-meteorol%C3%B3gica-mundial-confirma-que-2019-fue-el-segundo>.
2. ORGANIZACIÓN Meteorológica Mundial (OMM). Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2019. 2020 [fecha de consulta: 15 de enero de 2022]. Disponible en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10215
3. ORGANIZACIÓN Meteorológica Mundial (OMM). La Organización Meteorológica Mundial confirma que 2019 fue el segundo año más cálido jamás registrado. [fecha de consulta: 15 de enero de 2022]. Disponible en: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/la-organización-meteorológica-mundial-confirma-que-2019-fue-el-segundo>
4. RELIEFWEB. OMM: 2015, probablemente el año más cálido jamás registrado y 2011-2015, el quinquenio más cálido. 2015 [fecha de consulta: 15 de enero de 2022]. Disponible en: <https://reliefweb.int/report/world/omm-2015-probablemente-el-o-m-s-c-lido-jam-s-registrado-y-2011-2015-el-quinquenio-m-s-c>
5. GRUPO Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático [IPCC]. Cambio Climático 2014. Informe de síntesis. [fecha de consulta: 15 de enero de 2022]. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
6. Llacza, A., et al. Escenarios climáticos al 2050 en el Perú: Cambios en el clima promedio. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. 2021, [fecha de consulta: 30 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12542/1470>
7. GEO Innova. Medio Ambiente. 2014 [fecha de consulta: 15 de enero de 2022]. Disponible en: https://geoinnova.org/blog-territorio/informe-de-la-organizacion-meteorologica-mundial-sobre-el-clima-en-2014/?gclid=EAlaIQobChMI89eKx8aS8gIVBB-tBh38vAshEAAYASAAEgKcAvD_BwE.
8. ASAMBLEA Mundial de la Salud. Salud, medio ambiente y cambio climático: proyecto de estrategia mundial de la OMS sobre salud, medio ambiente y cambio climático: transformación necesaria para mejorar de forma sostenible las condiciones de vida y el bienestar mediante la creación de ambientes saludables. Informe del Director General: Organización Mundial de la Salud. 2019, [fecha de consulta: 30 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/328610>

9. MARTÍNEZ-AUSTRIA, P. y C. PATIÑO-GÓMEZ. Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y ciencias del agua* [en línea]. 2012, vol. 3, no 1, 5-20. [fecha de consulta: 30 de mayo de 2022]. Disponible en : http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222012000100001
10. SERVICIO Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Escenarios Climáticos en el Peru para el año 2030. 2009, [fecha de consulta: 30 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net//20.500.12542/141>
11. VARGAS, Paola, et al. El cambio climático y sus efectos en el Perú. Lima: Banco Central de Reserva del Perú, 2009. [fecha de consulta: 11 de noviembre de 2021]. Disponible en: <http://sial.segat.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/388.pdf>
12. CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE [CONAM]. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Versión N 08, 13 de diciembre de 2002. [fecha de consulta: 11 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/38934>
13. SERVICIO Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Impacto del Cambio Climático en cultivos anuales de las regiones de Cusco y Apurímac. 2011, [fecha de consulta: 30 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://web2.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-12.pdf>
14. INIA. Temperatura del aire atmosférico. [Fecha de consulta: 30 de febrero de 2022]. Disponible en: http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/le/cc_tempe.htm.
15. VINCENTI, Sheila Serrano, et al. Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito. *La Granja* [en línea]. 2012, vol. 16, no 2, 23-47. [fecha de consulta: 30 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/16.2012.03>
16. VEA, P., DURAN, M., y E. AGUILAR. Tendencias recientes e índices de cambio climático de la temperatura y la precipitación en Andorra, Pirineos (1935-2008). *Pirineos* [en línea]. 2012, vol. 167, p. 87-106. [fecha de consulta: 30 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://pirineos.revistas.csic.es/index.php/pirineos/article/view/229>
17. GUIRADO, S., et al. Tendencia de las precipitaciones y temperaturas en una pequeña cuenca fluvial del sureste peninsular semiárido. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* [en línea]. 2011. [fecha de consulta: 30 de marzo de 2022]. Disponible en: <http://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/download/1356/1279>
18. CAMPO, A., RAMOS, M. y P. ZAPPERI. Análisis de las variaciones anuales de precipitación en el suroeste bonaerense, Argentina. *XII Encuentro de Geógrafos de América Latina* [en línea]. 2009, vol. 12. [fecha de consulta: 30 de mayo de 2022].

Disponible en:
<http://www.observatoriageograficoamericalatina.org.mx/egal12/Procesosambientales/Climatologia/16.pdf>

19. MÉNDEZ, J., NÁVAR, J. y V. GONZÁLEZ. Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. Investigaciones geográficas [en línea]. 2008, no 65, p. 38-55. [fecha de consulta: 17 de junio de 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018846112008000100004&script=sci_abstract&lng=pt

20. ÁLVAREZ, A., LEÓN, J. y X. PACHECO. Evaluación del Modelo Climático Global MIROC5 y estimaciones de temperatura y precipitaciones para las zonas sur y norte del Perú. Apuntes de Ciencia & Sociedad [en línea]. 2015, vol. 5, no 2, 188-195. [fecha de consulta: 12 de julio de 2022]. Disponible en: <http://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/325>

21. ALIAGA, J., PÁRRAGA, P. y E. MANRIQUE. Efectos de las anomalías climáticas en la cobertura de nieve de los glaciares centrales del Perú. Apuntes de Ciencia & Sociedad [en línea]. 2015, vol. 5, no 1, 146-156. [fecha de consulta: 12 de julio de 2022]. Disponible en: <https://cendoc.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/310/325>

22. ESCOBAR, O. Proyección de la variación de la temperatura y la precipitación ante Cambio Climático para Bogotá. Tesis (Título de Ingeniero Geográfico Msc. en Meteorología). Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2012. 161 pp. [fecha de consulta: 12 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11634/2629>

23. PEZOA, L. Recopilación y análisis de la variación de las temperaturas (período 1965-2001) y las precipitaciones (período 1931-2001) a partir de la información de estaciones meteorológicas de Chile entre los 33 y 53 de latitud Sur. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2003. 97 pp. [fecha de consulta: 16 de diciembre de 2021]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2003/fifp521r/sources/fifp521r.pdf>

24. BALCÁZAR, F. y C. LOZANO. 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. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos). Cajamarca: Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, 2019. 111 pp. [fecha de consulta: 16 de diciembre de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/1296>

25. AAUCAHUASI, A. Análisis de tendencias de precipitación y temperatura (1970–2017) en la ciudad de Puerto Maldonado, Perú. Tesis (Maestro en Cambio Climático y Desarrollo Sostenible). Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2019. 117 pp. [fecha de consulta: 18 de diciembre de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12918/4769>

26. ACCOSTUPA, Y. Fenómeno El Niño y su relación con la variabilidad climática en la provincia de Cusco, periodo 1964 – 2014. Tesis (Doctora en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible). Cusco: Universidad Andina de Cusco, 2017. 130 pp. [fecha de consulta: 19 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12557/1312>
27. OLIVO, M. y A. SOTO-OLIVO. Comportamiento de los gases de efecto invernadero y las temperaturas atmosféricas con sus escenarios de incremento potencial. Universidad, Ciencia y tecnología [en línea]. 2010, vol. 14, no 57, 221-230. [fecha de consulta: 03 de octubre de 2021]. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-48212010000400002&script=sci_arttext
28. CAGUA, T. El cambio climático y sus implicaciones en la salud humana. Ambiente y Desarrollo [en línea]. 2017, vol. 21, no 40, 159-170. [fecha de consulta: 06 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/ambienteysesarrollo/article/view/20006/15454>
29. TEJADA-LLACSA, P. y G. MELQAREJO-GARCIA. Incidencia de apendicitis aguda y su relación con factores ambientales, Perú, 2013. Anales de la Facultad de Medicina [en línea]. 2015. vol. 76, nº 03 , 253-256. [fecha de consulta: 25 de mayo de 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S102555832015000400005&script=sci_arttext&tlng=en
30. RAMÍREZ, C. Variabilidad climática local y su relación con eventos del fenómeno el Niño -Oscilacion del sur (ENSO) en la vertiente del Pacífico. Universidad Rafael Landivar. Escuintla, 2015.
31. INSTITUTO de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). La variabilidad Climática y el Cambio Climático en Colombia. Universidad Nacional del Colombia. 2018. [fecha de consulta: 28 de abril de 2022]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023778/variabilidad.pdf>
32. VERGARA , K. Variabilidad climática, percepción ambiental y estrategias de adaptación de la comunidad campesiana de Conchucos, Ancash. Tesis (Título de Licenciada en Geografía y Medio Ambiente). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2011. 214 pp. [fecha de consulta: 19 de diciembre de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Karla-Vergara-2/publication/350090384_Variabilidad_climatica_percepcion_ambiental_y_estrategias_de_adaptacion_de_la_comunidad_campesina_de_Conchucos_Ancash/links/6050859b458515e8344ab4a2/Variabilidad-climatica-percepcion-ambiental-y-estrategias-de-adaptacion-de-la-comunidad-campesina-de-Conchucos-Ancash.pdf

33. GRUPO Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático. Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III. Ginebra - Suiza, 2007. [fecha de consulta: 28 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/ipcc-en-espanol-publications/>

34. MONTEALEGRE, J. Escalas de variabilidad climática. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. 2004. [fecha de consulta: 28 de abril de 2022]. Disponible en: https://www.rds.org.co/aa/img_upload/aea709feb9d6e6499a219fa83c2c5451/Escalas_de_la_variabilidad_clim_tica.pdf

35. LALE, M. Tendencias de la temperatura, precipitación y humedad relativa en Tingo María para el período 1940-2007. Tesis (Título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, Mención Conservación de Suelos y Agua). Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2008. 112 pp. [fecha de consulta: 31 de agosto de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/391/T.CSA119.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

36. GOMEZ, L. Analisis de la variabilidad climática en el sistema de captación y abastecimiento de agua del acueducto del espinal. Tesis (Trabajo de Grado en Ingeniería Civil). Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2019. 94 pp. [fecha de consulta: 19 de octubre de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/32692>

37. PRIMO, A. Variabilidad de la temperatura y la precipitación, en la ciudad de Toluca, estado de México, periodo 1970-2013. Tesis (Grado de Licenciatura). Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México, 2015. 113 pp. [fecha de consulta: 19 de octubre de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11799/49235>

38. SERVICIO Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Manual de funciones del observador meteorológico. 2005 [fecha de consulta: 19 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/336637539/manual-de-funciones-de-observador-meteorologico-pdf>

39. HERNÁNDEZ, L. ¿Sería la escala de temperatura de los extraterrestres igual a la nuestra? [fecha de consulta: 19 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.cienciaonline.com/2010/11/21/%C2%BFseria-la-escala-de-temperatura-de-los-extraterrestres-igual-a-la-nuestra/>.

41. ORGANIZACIÓN Meteorológica Mundial (OMM). Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos. [fecha de consulta: 19 de octubre de

2021]. Disponible en: https://www.pluviometro.com/temasdivul/wmo_8-1996_espfd.pdf

42. NUÑEZ, S. Tipos de precipitaciones. 2020. [fecha de consulta: 19 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-precipitaciones-3086.html>

43. ORDOÑEZ, J. Ciclo Hidrológico. Contribuyendo al desarrollo de una cultura del agua y la gestión integral del recurso hídrico. [fecha de consulta: 19 de octubre de 2021]. Disponible en: https://www.academia.edu/11099629/_Contribuyendo_al_desarrollo_de_una_Cultura_del_Agua_y_la_Gestión_Integral_de_Recurso_H%C3%ADrico_CICLO_HIDROLÓGICO_CICLO_HIDROLÓGICO

44. VIVEROS, N. Tipos de precipitación. [fecha de consulta: 19 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/3914524/>

45. SIGRO, J., BRUNET, M. y E. AGUILAR. El desarrollo de datos de calidad y el cambio térmico observado en España. Investigaciones Geográficas [en línea]. 2009, nº 49, 89-107. [fecha de consulta: 03 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/176/17617034005.pdf>

46. ESPINOZA, D. y R. FERNÁNDEZ. Análisis de tendencias climáticas en la región de la cuenca del Río Sajhuaya. Instituto de Hidráulica e Hidrología.

47. Coeficiente de correlación lineal de Pearson [En línea] [fecha de consulta: 03 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>.

48. SERVICIO Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Manual práctico de terminología meteorológica e hidrológica para la difusión masiva del dato y su uso en la gestión de riesgo. [fecha de consulta: 03 de octubre de 2021]. Disponible en: https://www.senamhi.gob.bo/publicaciones/Manuales/Manual_de_terminologia/Manual_de_terminologia.pdf

49. AGENCIA estatal de Meteorología (AEMENT). Meteoglosario Visual. 2018. [fecha de consulta: 03 de octubre de 2021]. Disponible en: https://www.aemet.es/es/conocermas/meteo_glosario_visual

50. PCE Ibérica. Estación meteorológica. [fecha de consulta: 03 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/medidores/estaciones-meteorologicas.htm>

51. GOBIERNO de México. Glosario técnico. [fecha de consulta: 03 de octubre de 2021]. Disponible en:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/69503/GLOSARIO_DE_TERMINOS_INDAABIN.pdf

52. Ley N° 30754. Ley Marco sobre Cambio Climático. Ministerio del Ambiente. Lima, Perú, 18 de abril de 2018. [fecha de consulta: 18 de junio de 2021]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-marco-cambio-climatico>

53. INSTITUTO Nacional de Estadísticas y Censos (Inec). Generalidades. [fecha de consulta: 14 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://inec.gob.pa/archivos/P5121generalidades.pdf>.

54. RED Cultural del Banco de la República - Colombia. Clima elementos y factores. [fecha de consulta: 14 de mayo de 2021]. Disponible en: https://enciclopedia.banrepcultural.org/index.php/Clima:_elementos_y_factores

55. ECHEGOYEN, J. Método Hipotético deductivo. [fecha de consulta: 16 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.e-torredebabel.com/Psicologia/Vocabulario/Metodo-Hipotetico-Deductivo.htm>.

56. SERVICIO Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Mapa Climático del Perú. [fecha de consulta: 14 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>

57. GRUPO Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC). El Cambio Climático y la Tierra: Resumen para responsables de políticas. [fecha de consulta: 15 de junio de 2021]. Disponible en: <https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/srl-sp.pdf>

58. COSTA, C. La adaptación al cambio climático en Colombia. Revista de ingeniería [en línea]. 2007, n° 26, 74-80. [fecha de consulta: 15 de junio de 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n26/n26a10.pdf>

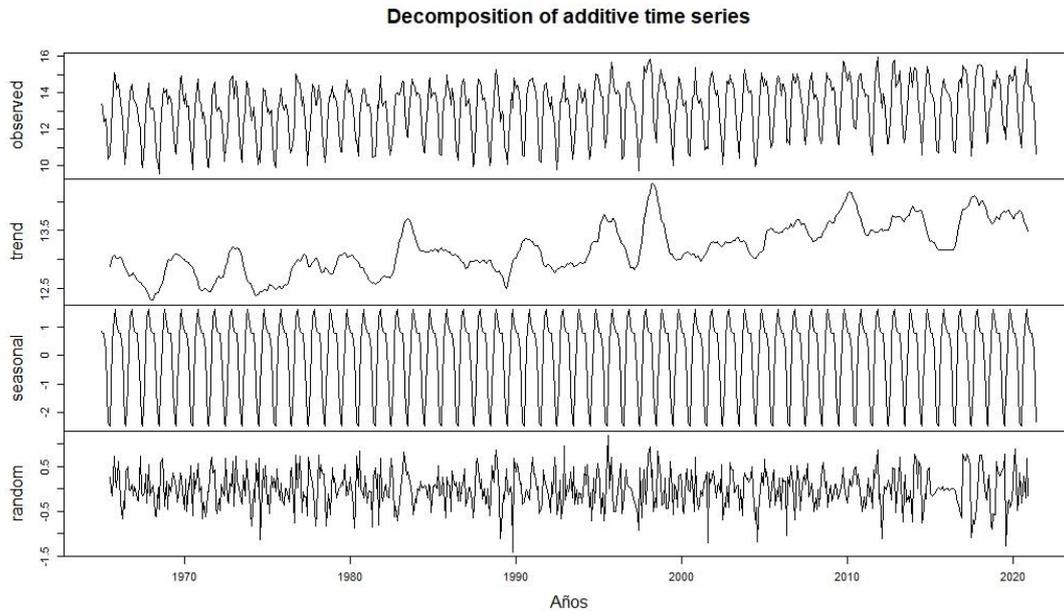
59. PABÓN, J. El cambio climático global y su manifestación en Colombia. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía [en línea]. 2003, n° 12, 111-119. [fecha de consulta: 15 de junio de 2021]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/10277>

60. FERNÁNDEZ, J. El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. Anales de la real de medicina y cirugía de Valladolid [en línea]. 2013, n° 50, 71-98. [fecha de consulta: 15 de junio de 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4817473>

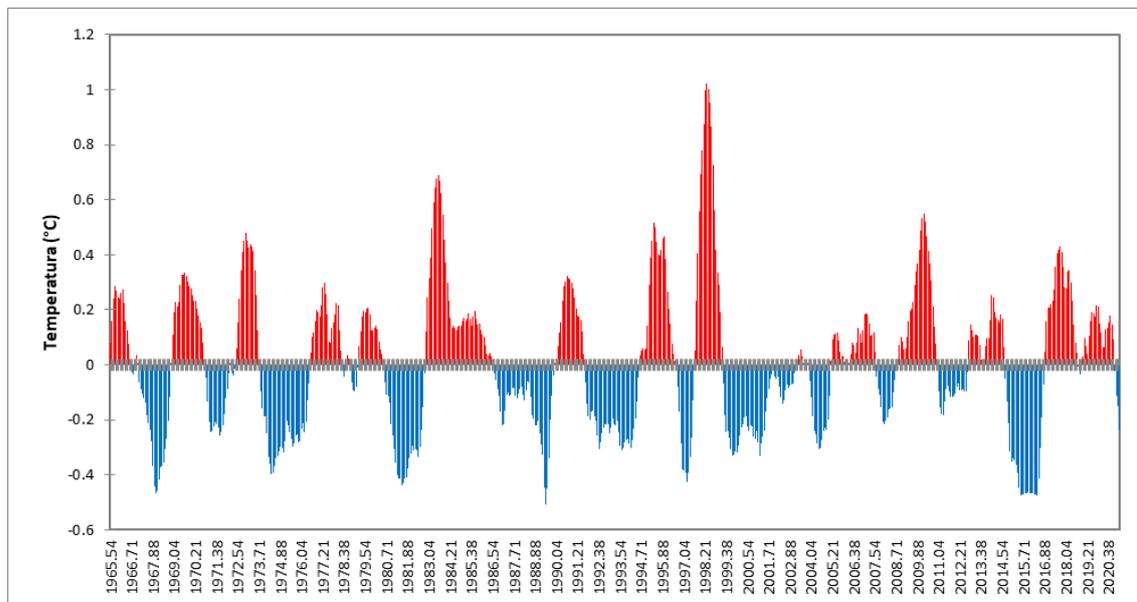
ANEXOS

A. Análisis de la información

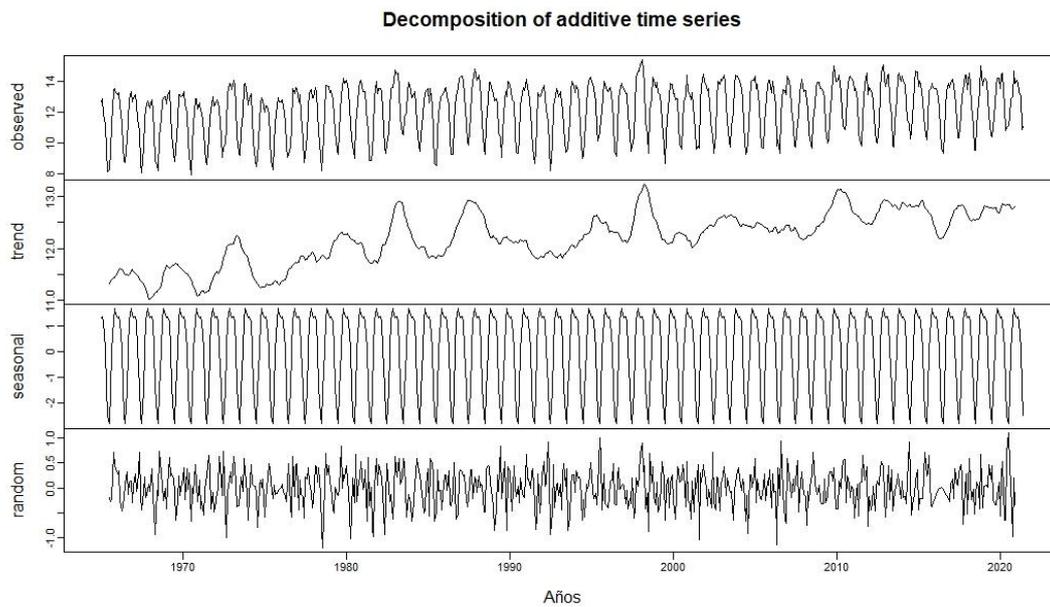
ANEXO 1. Descomposición de la serie de tiempo de la temperatura media de la estación climatológica de Acomayo de la región Cusco 1965-2021



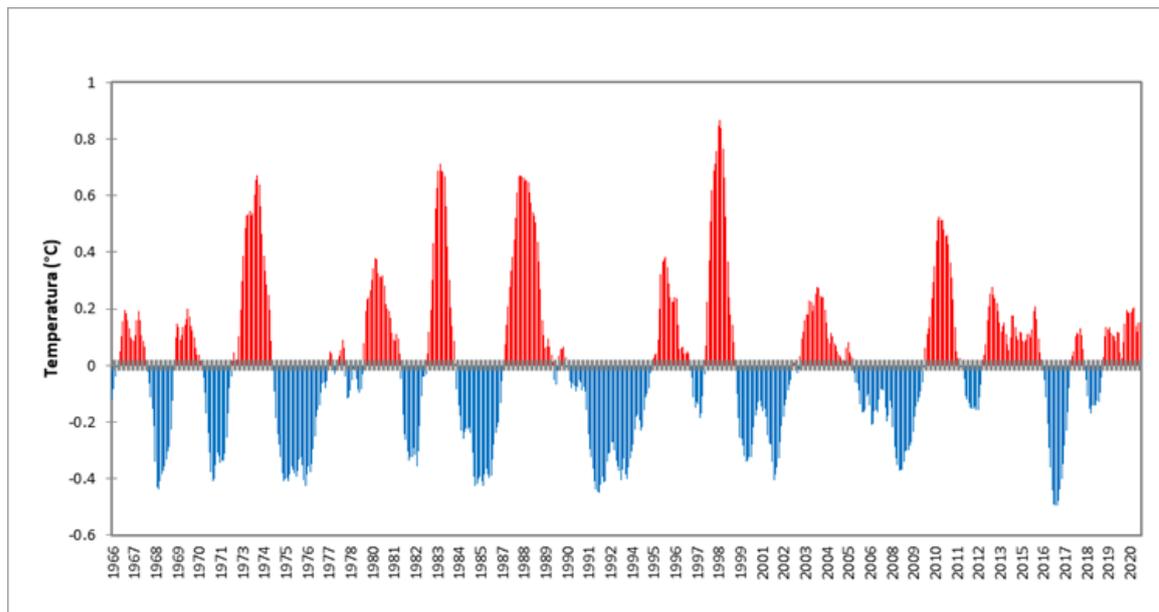
ANEXO 2. Anomalías de los residuos de la temperatura media de la estación climatológica de Acomayo de la región Cusco 1965-2021



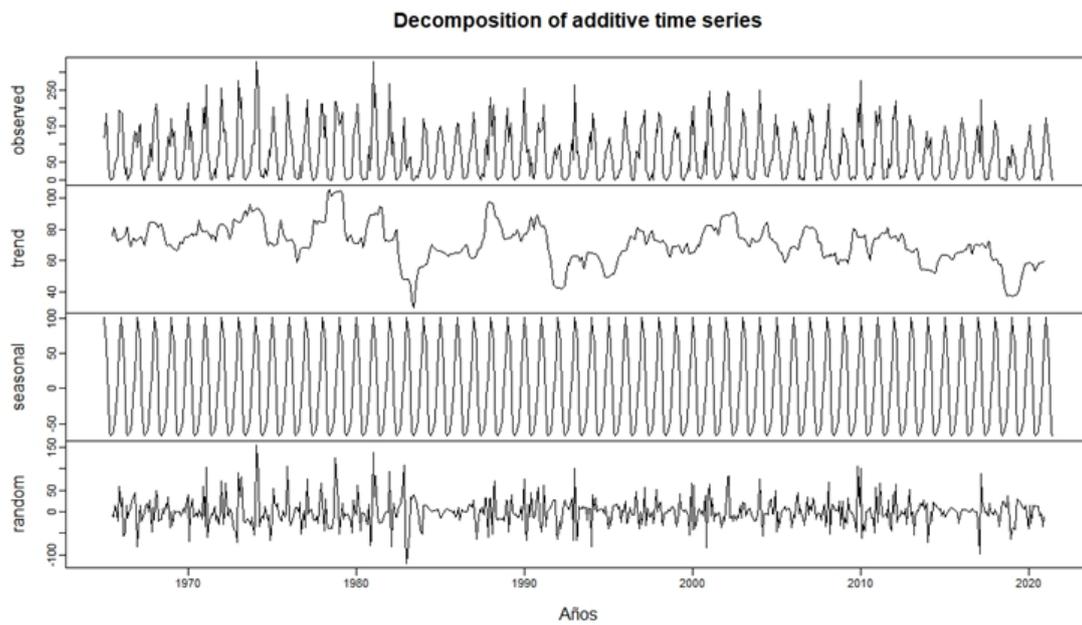
ANEXO 3. Descomposición de la serie de tiempo de la temperatura media de la estación climatológica de Granja Kcayra de la región Cusco 1965-2021



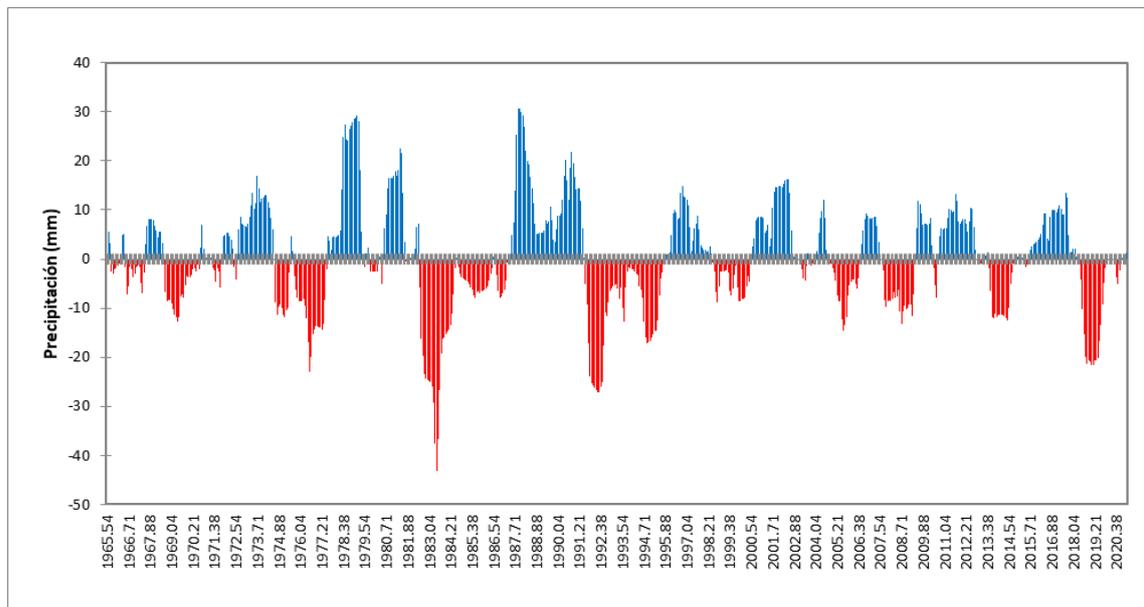
ANEXO 4. Anomalías de los residuos de la temperatura media de la estación climatológica de Granja Kcayra de la región Cusco 1965-2021



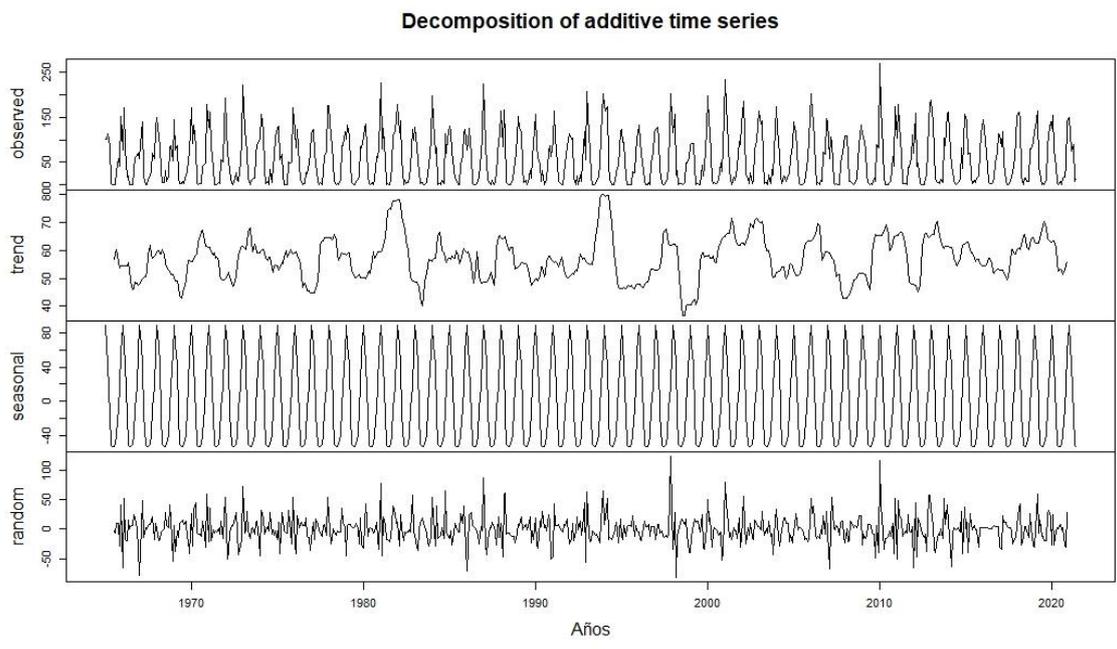
ANEXO 5. Descomposición de la serie de tiempo de la precipitación acumulada de la estación climatológica de Acomayo de la región Cusco 1965-2021



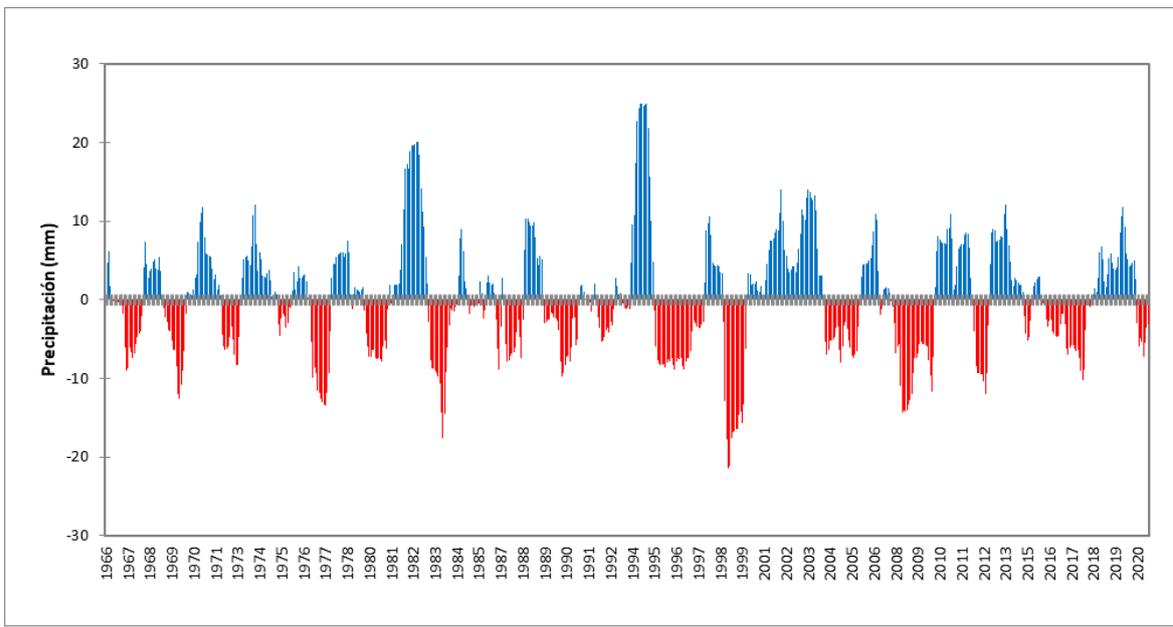
ANEXO 6. Anomalías de los residuos de la precipitación acumulada de la estación climatológica de Acomayo de la región Cusco 1965-2021



ANEXO 7. Descomposición de la serie de tiempo de la precipitación acumulada de la estación climatológica de Granja Kcayra de la región Cusco 1965-2021



ANEXO 8. Anomalías de los residuos de la precipitación acumulada de la estación climatológica de Granja Kcayra de la región Cusco 1965-2021



ANEXO 9. Estadísticos descriptivos de la precipitación: estación Climática Acomayo

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Ppm	665	0	665	57.8685	82.2195	68.1511	5.6240
Tmm	665	0	665	12.7907	13.7173	13.3545	0.2858

ANEXO 10. Matriz de correlaciones: Estación Climática Acomayo

	MA(Tmm)	MA(Ppm)
MA(Tmm)	1	-0.7091
MA(Ppm)	-0.7091	1

ANEXO 11. Estadísticos de bondad del ajuste (Pp): Estación climática Acomayo

Estadístico	Muestra de aprendizaje	Conjunto de validación
Observaciones	665.0000	665.0000
Suma de los pesos	665.0000	665.0000
GL	663.0000	663.0000
r ²	0.5028	0.5028
r ² ajustado	0.5020	0.5020
r	0.7091	0.7091
MEC	15.7509	15.7509
RMSE	3.9687	3.9687
DW	0.0126	0.0126

ANEXO 12. Parámetros del modelo (Pp): Estación Climática Acomayo

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intercepción	254.5012	7.1989	35.3529	< 0.0001	240.3659	268.6366
Tmm	-13.9541	0.5389	-25.8919	< 0.0001	-15.0123	-12.8959

ANEXO 13. Estadísticos descriptivos de la precipitación: Estación Granja Kcayra

Variable	Observaciones	con datos perdidos	sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
MA(Ppm)	665	0	665	54.2791	60.0152	57.6444	1.2951
MA(Tmm)	665	0	665	12.1469	12.7193	12.4884	0.1853

ANEXO 14. Matriz de correlaciones: Estación Granja Kcayra

	MA(Tmm)	MA(Ppm)
MA(Tmm)	1	0.7410
MA(Ppm)	0.7410	1

ANEXO 14. Estadísticos de bondad de ajuste (Pp): Estación Granja Kcayra

Estadístico	Muestra de aprendizaje	Conjunto de validación
Observaciones	665.0000	665.0000
Suma de los pesos	665.0000	665.0000
GL	663.0000	663.0000
R ²	0.5490	0.5490
R ² ajustado	0.5484	0.5484
MEC	0.7575	0.7575
RMSE	0.8704	0.8704
DW	0.0167	0.0167

ANEXO 15. Parámetros del modelo (Pp): Estación Granja Kcayra

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intercepción	-7.0269	2.2765	-3.0867	0.0021	-11.4969	-2.5568
MA(Tmm)	5.1785	0.1823	28.4110	< 0.0001	4.8206	5.5364

B. Documentos

Anexo 16

Solicitud de Autorización de Ingreso para la estación Granja Kayra

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS
CENTRO PRODUCCIÓN DE BIENES Y PRESTACIÓN DE SERVICIOS
GRANJA K'AYRA

AUTORIZACIÓN

EL ASISTENTE DE LA COORDINACIÓN DEL CENTRO DE PRODUCCION DE BIENES Y PRESTACION DE SERVICIOS DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.

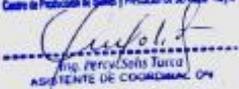
A U T O R I Z A :

Al Señor: JENRY QUIRITA MERMA, identificado con DNI N° 73237887. Tesista de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Continental – Huancayo, para que ingrese al campus de la Facultad de Ciencias Agrarias a las instalaciones del Estación Meteorológica para observar algunos equipos existentes he dicho lugar.

Por tal motivo recurro al Sr. Supervisor de Seguridad del Centro Agronómico Kayra, brindarle las facilidades de ingreso, que se realizará el martes 01 de junio del presente año.

Kayra 31 de Mayo del 2021

Atentamente,


Ing. Percy Soto Turca
ASISTENTE DE COORDINACIÓN CA

Fuente: Elaboración Propia

C. Evidencia fotográfica



Fotografía 1. Visita a la estación Granja Kayra

Fuente: elaboración propia



Fotografía 2. Reconocimiento de los instrumentos de la estación

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 3. Lectura y registro de datos

Fuente: elaboración propia